

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA
Departamento de Medicina y Cirugía Animal



TESIS DOCTORAL

Características productivas de la raza ovina lechera Lacaune bajo un sistema de producción intensivo en España: factores que afectan dichas características

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Laura Elvira Partida

Directores

Juan Vicente González Martín
Susana Astiz Blanco

Madrid, 2016

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA

Departamento de Medicina y Cirugía Animal

**CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA RAZA OVINA
LECHERA LACAUNE BAJO UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN INTENSIVO EN ESPAÑA. FACTORES
QUE AFECTAN DICHAS CARACTERÍSTICAS**

TESIS DOCTORAL

Laura Elvira Partida

Madrid, junio 2015

**CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA RAZA OVINA
LECHERA LACAUNE BAJO UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN INTENSIVO EN ESPAÑA. FACTORES
QUE AFECTAN DICHAS CARACTERÍSTICAS**

VºBº Los directores

Dr. Juan Vicente González Martín

Dra. Susana Astiz Blanco

Memoria presentada por Laura Elvira Partida

Para optar al grado de Doctor.

Madrid, junio 2015

D. Juan Vicente González Martín, profesor titular EU del Departamento de Medicina y Cirugía Animal de la Universidad Complutense de Madrid, y

Dña. Susana Astiz Blanco, Doctora en veterinaria por la Universidad de Hannover, Alemania.

INFORMAN:

Que el presente trabajo de investigación titulado “CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA RAZA OVINA LECHERA LACAUNE BAJO UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN INTENSIVO EN ESPAÑA. FACTORES QUE AFECTAN DICHAS CARACTERÍSTICAS” presentado por, Dña. Laura Elvira Partida, y dirigida por quienes suscriben, reúne los requisitos necesarios para su exposición y defensa, con el fin de optar al grado de Doctor en Veterinaria.

**Y para que así conste, firmamos el presente informe en
Madrid, junio de 2015**

A Nando, Vitu y Silvi

AGRADECIMIENTOS

A

Juanvi y Su, mucho más que mis directores de tesis... con vosotros he aprendido y compartido tantas y tantas cosas...pero sobre todo a disfrutar aprendiendo, a tener espíritu crítico, a no conformarme, a buscar siempre más allá...

Juanvi han pasado tantos años desde que me dejaste ir contigo por primera vez en el coche a ver vacas... el mejor día de la semana... sólo pensaba en que ocurriría a la próxima, qué cirugía, qué caso, qué historias me contarías... y es que hacías reír, discurrir, volverme loca con tus hipótesis... y sobre todo ¡¡¡feliz!!! Y han cambiado muchas cosas a lo largo del tiempo, de maestro has pasado a amigo, pero hay algo que nunca ha cambiado, que me siento feliz cuando estoy a tu lado, llena de ilusiones, de proyectos... es un honor compartir contigo los nuevos diagnósticos, casos raros, el charloteo de cada mañana por teléfono...

Su contigo son todo grandes recuerdos los años en la clínica, las analíticas, las repros en que me llenaba de mierda hasta el cogote, los pinchos de tortilla, el día de la competición de moscas voladoras en el cristal, las ecos a medio día en la ofi para ver a los cachorros, el día que no encontrabas la farmacia, el jabalí del hotel de Barcelona... Luego volaste a nuevos horizontes, pero siempre los seguimos compartiendo y siempre has estado ahí para mí, para un café, para pensar, para crecer, para apoyarme... ¡¡gracias!!

A Groucho, por prestarme tus datos, tus queridas ovejas, tu conocimiento, tu tranquilidad... y aunque parecía increíble al principio... ¡¡¡ya casi lo conseguimos!!!

A Pedro y lagoba, por enseñarme a pensar con la p y sin la p, porque siempre habéis echado el resto por buscar mil soluciones... incluso cuando no las había, por las risas con el Pollot, con las revisiones... Eso sí, ahora habrá que buscar otra excusa para irnos a comer por ahí todos juntos, a charlotear y cómo no, ¡¡a disfrutar de vuestra compañía!!

A Nat porque eres especial, por choting in the night, Shakira de madrugada hacia el ensayo, por el botón secreto del scanner, por las noches explorando chotos con linterna en Logroño, porque me alegras cada mañana (cuando por fin logramos hablar), por compartir tantas y tantas ilusiones... pero sobre todo ¡¡porque tengo la gran suerte de ser tu amiga!

A mis padres Teresa y José Luis, por creer en mí en cada aventura que me embarco (el baile, la cerámica, las vacas...) ¡¡y hacerme sentir siempre que soy capaz de cualquier cosa!! Porque mami para mí sigues siendo la mejor del mundo mundial y ya sabes que ¡te quiero hasta la luna! Y papi después de tanto insistirme... ¡¡no pude resistirme!!

A mis hermanos, mi primi Itzi, Marivi, Tota, mi cuñadito, el primo Paco... toda la familia ¡¡porque siempre habéis estado pendientes de preguntar y apoyarme con este proyecto!!

A los amigos Nat, Cris, Bego, Paula, Gabi, Rox, Pachu, Edu, Esther, Javi, Consu, Carlos, Diana, Andrés, Esther, Marcos, Soraya, Miri, Sara, ... por todos los ratos maravillosos que hemos compartido ¡¡y los que nos quedan por disfrutar!!

A mis nuevos compis y amigos de aventuras msdianas ¡Por lo bien que lo pasamos trabajando, viajando y aprendiendo juntos!

A mis compis de tesis de larga duración Javi, Edu, Groucho... por el “¿¿cómo lo llevas??? ¡¡¡Mira que te gano!!! ¡¡¡Qué ya lo tenemos!!!”

A Nando, mi amor, porque me encanta crecer a tu lado, porque juntos somos mucho más (tienes razón) ¡¡¡y porque me haces sonreír cada mañana!!! Porque siempre me has apoyado, en cada proyecto, y éste no iba a ser menos, porque me encanta escucharte (ya sabes que tienes una voz melodiosa) y discutir contigo de política, de metagenómica, de cotilleos, de diagnósticos, viajes, epi, educación, niños... ¡lo que nos echen! Y sobre todo aprender y seguir avanzando a tu lado. En fin, ¡¡¡porque tengo la gran suerte de compartir la vida contigo!!!

A Vitu y Silvi mis dos pequeños amores. Vitu, mi Victorcitis, porque lo has cambiado todo y haces que nada pueda ser más importante que estar a tu lado y verte reír, hacer el bruto, jugar, chinchar a tu hermana, aprender, disfrutar de cada viaje juntos, de cada día que tengo la suerte de verte crecer... Silvi, mi princesita, la brujilla traviesa que a todos conquista, y a la que sucumbí a sus encantos, no iba a ser menos... porque haces que sea imposible no sentirme feliz cada minuto, cada risa, cada broma, cada tontuna que se te ocurre, cada besito de mariposa o de gnomos que me das...

En fin a todos los que habéis hecho posible que por fin después de tanto tiempo este proyecto esté terminado y entregado, pufff ¡! Creía que nunca llegaría el día...

RESUMEN

RESUMEN

En el presente trabajo, investigamos acerca de la producción láctea de las ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo. Este hecho es poco frecuente en la literatura científica, dado que si bien esta raza francesa ha sido sometida durante más de treinta años a rigurosos programas de mejora genética con el fin de mejorar su nivel productivo y adaptación al ordeño mecánico, y a un estudio exhaustivo de su capacidad productiva y fisiología mamaria, el destino de la leche producida por esta raza en Francia es la fabricación del queso Roquefort y la reglamentación de esta D.O.P sólo permite la explotación tradicional de los animales, muy diferente de los sistemas intensivos de producción lechera. No obstante, desde 1992 diferentes países, entre ellos España, han importado de Francia animales de genética seleccionada de la raza lacaune a través de la asociación oficial de criadores.

Dado que las explotaciones de estos países se encuentran fuera de la Denominación de Origen Protegida (D.O.P.) Roquefort no cuentan con el posible mayor precio de la leche pero tampoco sufren las limitaciones normativas asociadas a esta denominación, por lo que la explotación intensiva de la raza les permite alcanzar un mayor potencial productivo y mejorar la rentabilidad de las explotaciones. Sin embargo, la información accesible sobre parámetros productivos y recomendaciones de manejo específicos para esta raza en condiciones intensivas es escasa, a excepción de esfuerzos notables por parte de asociaciones de Lacaune formadas en los últimos años en distintos países europeos fuera de Francia, como AESLA en España.

Por ello y para poder contar con información estructurada y analizada sobre esta raza en condiciones intensivas, recopilamos y analizamos los datos reproductivos y de producción láctea de 3.677 ovejas de raza lacaune pertenecientes a una misma explotación comercial. Las ovejas pertenecían a un rebaño de 4.000 ovejas, la granja Cerromonte (situada en Ávila, España, latitud 40,90 N y altitud de 900 m). El rebaño original había sido importado de la Asociación Francesa Lacaune (Upra Lacaune Región de Aveyron). La información analizada incluía los datos desde el primer parto entre 2005-2010 con el fin de evaluar las características productivas y factores que las pudieran afectar, siempre bajo condiciones intensivas. Con el objeto, en primer lugar, de explorar la curva de lactación, sus características y variaciones dentro de una población representativa de un sistema intensivo, incluimos un total de 664.220 registros de producción diaria procedentes de 7.873 lactaciones, con una media de 84,37 registros diarios por lactación, a partir de los cuales calculamos medias semanales para obtener una mayor homogeneidad en los datos, quedando finalmente un total de 201.281 registros semanales y con una media de 25,6 registros por lactación.

En el presente estudio hemos evidenciado cómo la raza lacaune explotada bajo condiciones intensivas puede llegar a alcanzar un rendimiento productivo excepcional. En base a estos datos reales de 7.873 lactaciones aproximamos las curvas que denominamos “reales”, es decir, las curvas resultantes a partir de los datos medios semanales sin efectuar ajustes matemáticos ni “rellenar” los huecos existentes entre

registros. La producción global media alcanzada en la explotación objeto de nuestro estudio (incluyendo los datos conjuntos de todas las lactaciones, $n = 7873$) fue muy superior a la previamente descrita para la raza en el núcleo de origen y comparable con las producciones de las principales razas lecheras utilizadas en nuestro país, assaf y awassi (345,24 l de producción por lactación estandarizada a 160 días y 424,41 l tras el seguimiento a 40 semanas, con una duración media de la lactación de 224 días, alcanzando un pico de máxima producción de 2,69l en el día 34 y con una persistencia de 14,64 ml/día). De hecho, la producción de la lactación estandarizada a 160 días se situó en un rango próximo a la raza awassi mejorada, aunque menor que la assaf de Israel (345,24 vs. 506 y 334 l, respectivamente). Además, bajo las condiciones de nuestro estudio, las ovejas lacaune alcanzaron la máxima producción ya en la primera lactación descendiendo levemente en la segunda lactación y de forma más acentuada y estadísticamente significativa a partir de la tercera lactación. El descenso de producción con la edad se debió a un acortamiento de la longitud de la lactación y no a una menor producción diaria. Este hecho podría explicarse porque la ubre ya estuviera totalmente desarrollada en la primera lactación con una edad media de 14,4 meses al primer parto y su potencial productivo fuera disminuyendo con la edad, lo que ya ha sido reflejado por otros trabajos en distintas especies de producción láctea. Cuando las lactaciones fueron clasificados en base a su longitud como S, M, L y XL, las primeras lactaciones dieron lugar a formas L y XL significativamente más a menudo que las S o M ($P < 0,05$), mientras que las lactaciones 4ª y 5ª eran predominantemente de tipo S. Además, cuanto más larga fuese la lactación, encontramos mayores producciones de leche total y un mayor pico de leche. De modo que respecto a la duración de la lactación, la longitud de la lactación mostró un claro efecto positivo sobre la producción láctea, lógicamente.

Los datos promedio nos permitieron realizar una primera aproximación a la curva de lactación de la oveja lacaune. Sin embargo, con el fin de predecir la producción de leche y para realizar estudios adicionales sobre los factores que afectan la producción de leche (y curva de lactación), se requiere aplicar un modelo matemático adecuado. Un avance importante en los estudios de especies productoras de leche, ha sido el ajuste de curvas matemáticas a la curva de lactación (Wood, 1967). El ajuste permite solventar el problema de la falta de muestreos continuos, diarios e individuales de la producción láctea de los animales, permitiendo realizar análisis más profundos de factores y tipologías. En realidad, lo que hacemos con el ajuste matemático de curvas es “rellenar” los huecos en la secuencia de muestreos en el tiempo, ya que sin una línea continua nos sería imposible seguir valorando y analizando factores que afectan a dichas curvas. Así pues, mediante el ajuste matemático apropiado podemos estimar la producción total y predecir producciones futuras. Igualmente, se pueden identificar los animales con mayor potencial productivo (Morant y Gnanasakthy, 1989). Esta valiosa información nos ayuda en la toma de decisiones para los programas reproductivos (Barillet y Boichard, 1994), y también en las estrategias de manejo a pie de granja (Sakul y Boylan, 1992). Finalmente, estos modelos son imprescindibles para estudiar los factores que afectan a la producción lechera (Morant y Gnanasakthy, 1989). Para describir

curvas de lactación se han utilizado tanto métodos lineales como no lineales de ajuste de curvas (Masselin et al., 1987).

Con este objetivo, evaluamos el ajuste de 11 funciones matemáticas a la curva de lactación de la oveja lacaune, tanto a nivel global como en los distintos órdenes de lactación para determinar el mejor modelo para estudiar muy al detalle, la curva de lactación de la oveja lacaune en condiciones intensivas. Después de comparar los resultados de bondad de ajuste de cada modelo los valores RMS y DW mostraron que los modelos de Grossman, Pollott aditivos y FP tenían el RMS más pequeños, el mayor R^2 y el valor de DW más cercano a 2. A continuación se llevó a cabo el Run Test para determinar si los valores residuales tenían lugar al azar. Los resultados evidenciaron que los modelos Pollott aditivo y PF mostraban aleatorización de los residuales para la mayor parte de números de lactación. Las funciones de Polinomios Fraccionales y Pollott Aditivo (Pollott y Gootwine, 2000) fueron las más precisas y fáciles de aplicar a la curva de lactación de la oveja lacaune de cara a predecir la producción láctea. Ambas funciones fueron las que presentaron mayor bondad de ajuste con respecto a la curva real, tanto para la lactación global (LG; la media de todas las lactaciones juntas), como para las curvas de los distintos órdenes de lactación (L1-L5), entendiendo por orden de lactación, las sucesivas lactaciones, tras los sucesivos partos. Las funciones de Pollot y FP realizaron correctas estimaciones de la producción de leche total (desviaciones $<0,2$ l) y del día en que se alcanzaba el pico de máxima producción (desviación = 0). Ambos modelos sobreestimaron el pico de máxima producción en $<0,01$ l y subestimaron la persistencia en el día 150 de lactación en 1,9 ml / día. En general, para ambos modelos las desviaciones de los valores estimados eran muy pequeñas en todos los casos. Estos resultados indican que los métodos más precisos y fáciles de encajar una curva de lactancia Lacaune experimental con el fin de predecir la producción de leche son la FP y las funciones Aditivo Pollott (Pollott, 2000).

El modelo PF presenta como principal ventaja su facilidad de cálculo, sin que sea necesario ningún *software* específico, lo que le dota de gran practicidad de cara a su uso en granja, especialmente cuando el objetivo sea lograr un buen ajuste y dispongamos de un número amplio de datos disponibles, como ha sido el caso de la presente explotación; por otro lado, el modelo de Pollott Aditivo presenta el valor añadido asociado a la posibilidad de realizar la interpretación biológica de sus parámetros, lo que nos permite realizar valoraciones adicionales de los resultados del mismo, y es aplicable a un número escaso de datos de producción lechera por lactación, lo que, aunque es cada vez menos problema, sí puede ser la realidad de determinados sistemas.

Finalmente, en la última fase del trabajo, tras aplicar el modelo que mostró mejor ajuste y más ventajas de interpretación práctica (Pollott Aditivo), realizamos el análisis de tipologías de las curvas de lactación. El análisis de tipologías o clústers, implica la agrupación de los individuos en "grupos" o "tipos" de tal manera que los miembros de un grupo son más similares entre sí que con los miembros de otros grupos en base a una o más características. Después de la agrupación, se pueden realizar análisis exploratorios para determinar las características específicas que diferencian cada grupo o tipo. Este análisis nos

permitió identificar cuatro tipologías de lactación que difirieron principalmente en la forma y longitud de la curva, siendo las más productivas las de mayor longitud y persistencia. El tipo SL incluía lactaciones cortas y menos productivas, <23 semanas y producciones > 0,5 l / d, n = 2137 (27,4% del total), el tipo SN que incluía lactaciones cortas de producción normal, con una duración de 427 semanas y producciones > 0,5 l / d, n = 2039 (26,2%); el tipo LP que incluía lactaciones largas y productivas, con una duración de 437 semanas y producciones > 0,5 l / d, n = 2169 (27,9%); y el tipo LVP que incluía lactaciones largas y sumamente productivas, con una duración de 443 semanas y producciones > 0,5 l / d, n = 1443 (18, 5%). Se observó, que los cuatro tipos de lactación diferían principalmente en la forma de la curva y en su longitud, siendo las más productivas las que tenían una mayor duración y una mayor persistencia de producción. Además, en el presente estudio encontramos que la producción de leche descendía significativamente con la edad oveja, lo que confirma los hallazgos de estudios previos de nuestro grupo (Hernández et al. 2011). Las hembras con una EPP media > 420 d alcanzaban con alta probabilidad la máxima productividad lechera en su L1, posiblemente debido a que el desarrollo ubre era completo en el momento de su primer parto.

Una vez identificadas las distintas tipologías de curva de lactación tratamos de concretar qué características diferenciales tenían las ovejas con las mejores y las peores lactaciones. Así pues, las ovejas cuyas lactaciones fueron más productivas mostraron las siguientes diferencias principales con respecto a las lactaciones menos productivas: un periodo seco previo más corto, mayor longitud del intervalo entre partos, nacimiento en el mes de septiembre, primer parto durante los meses de septiembre- octubre y mes del parto en marzo, octubre o diciembre. Por otra parte, para ver el posible efecto del individuo sobre los tipos de lactación, comparamos los tipos de lactación para las mismas ovejas entre los diferentes números de lactación. Se analizaron 1.534 ovejas con L1 y L2 completa, 1456 con L2 y L3 completa, 742 con L3 y L4 completa, y 294 con total L4 y L5. La mayor parte de las ovejas tendieron a mostrar el mismo tipo de curva de lactación de una lactación a la siguiente.

De manera que los principales factores que parecen influenciar la producción láctea de la oveja lacaua bajo condiciones intensivas son la edad (o número de lactación), la duración del periodo seco, la estación/fotoperiodo y finalmente, el potencial productivo individual de cada animal, que resultaba ser un factor determinante.

Estos resultados constituyen información novedosa, de gran aplicabilidad a los sistemas productivos actuales en régimen intensivo de la oveja lacaua en nuestro país y en otras muchas regiones, facilitando la toma de decisiones técnicas y económicas, ya que, en base a estos resultados, ofrecemos un método aplicable en granja para el ajuste de las curvas de lactación propias. Por otro lado, describimos cómo podemos tomar decisiones efectivas a partir del procesamiento de dichos datos. Finalmente puntualizamos factores que han resultado ser significativamente influyentes en la productividad de las ovejas lacaua en condiciones intensivas de producción. De entre ellas, tanto la longitud del periodo seco, las fechas previstas de partos, así como el valor genético o individual de los animales, son factores en los que

podemos incidir y modular, o al menos, prever, para mejorar nuestras predicciones y con ello, la eficiencia económica del sistema productivo. Al tratarse de un sistema muy estandarizado y repetible, esta información puede ser de gran valor y aplicabilidad en muy distintas partes del mundo, incluso extrapolable, en cuanto a la metodología a otras razas ovinas.

SUMMARY

SUMMARY

In this thesis, we investigate about Lacaune dairy sheep milk production under intensive management conditions. This French breed has been included for more than thirty years into a rigorous breeding scheme in order to improve its productivity and adaptation to mechanical milking. Indeed, the lacaune dairy breed is currently one of the world's high-yielding milk ovine breeds, with average milk yields per day of 1.59 l and a total milk yield of 270 l, over a 165d lactation period. However, scarce information is present in the scientific literature about this breed under intensive management production. The main cause, the Lacaune sheep originated in France and produces the milk used to prepare Roquefort cheese. Production of Roquefort cheese is strictly regulated (AGRP0001838D) by legislation protecting Designation of Origin, prohibiting intensive milk production and insisting on traditional management, such as only one lambing per year, a lamb suckling period for at least 30 days or seasonal productivity.

Since 1992, various countries, including Spain, have officially imported Lacaune sheep from France through the official association of Lacaune breeders. For producers outside the Roquefort Designation of Origin (PDO), who doesn't perceive the high milk price and doesn't have to follow Roquefort cheese regulations, these traditional management production conditions are less cost-effective; and intensive management allows them to achieve more profitable and sustainable farms. Therefore, information about dairy performance of complete lactations in Lacaune sheep under intensive management is scarce, except for the significant efforts performed by some Lacaune sheep associations emerged in recent years in several European countries outside France, such as AESLA in Spain. Therefore, the present thesis aimed to investigate about Lacaune milk production under intensive management conditions.

The appropriate description of lactation curves is the only way to analyze factors affecting not only milk yields but breeding programs and to develop suitable management decisions and production strategies in the farms. Then, for this study we collected and analyzed data on reproductive and milk production for 3,677 Lacaune sheep from a single farm. Ewes belonged to a flock of 4000 sheep located at the Cerromonte Farm (Avila, Spain, latitude of 40.90 N, altitude of 900 m). The original flock had been imported from the French Lacaune Association (Upa Lacaune Region of Aveyron). The data covered the period between 2005 and 2010 in order to describe the complete Lacaune lactation curve, milk production level and to analyze factors affecting milk yield, always under intensive management conditions. In order to explore the lactation curve, its characteristics and variations within a representative population of ewes under intensive management conditions, we included a total of 664,220 daily production records from 7,873 lactations with an average of 84.37 daily records per lactation, from which we calculated weekly averages to obtain greater data homogeneity, and leaving finally a total of 201,281 weekly logs and an average of 25.6 records per lactation.

In this study we have shown how the Lacaune ewes managed under intensive conditions can reach an exceptional milk yield. Based on these real data from 7,873 lactations curves we approached what we call

the "real" curve, that is, the lactation curves obtained with the weekly average data without performing any mathematical adjustments nor "fill in" the gaps between the recorded data. The real Lacaune global lactation curve of our commercial study flock (all lactations together, $n = 7873$) achieved a very superior production level (345.24 l of milk for 160-day standardized lactation and 424.41 l after a 40 weeks follow-up period, an average duration of lactation of 224 days, with a peak of 2.69 l on day 34 and a persistency of 14.64 ml/day) compared to that previously described for this breed at the core of origin and comparable with the productions of the major dairy breeds used in our country (Assaf and Awassi). Indeed, 160-day standardized lactation stood at the near range to improved Awassi breed, but lower than the pure Assaf breed in Israel (345.24 vs. 506 and 334 l, respectively). In addition, under our study conditions, Lacaune dairy sheep reached maximal milk yield in their first lactation, slightly descending in the second lactation and more pronounced and statistically significant reduced production after the third lactation. The production declined with age due to a shortening of the length of lactation and not to a lower daily milk production. This could be explained due to sufficient udder development at first lactation with an average age at first lambing of 14.4 months; declining productive potential with age later on. This hypothesis has been reflected by other studies in different milk production species. When the lactations were classified by their length as S, M, L and XL, first lactations took the form of L and XL lactations significantly more often than S or M ($P < 0.05$), whereas lactations 4 and 5 were predominantly S lactations. The longer the lactation lasted, the higher the total milk yield and the milk peak. Then, regarding the duration of the lactation, as expected, the lactation length showed a clear positive effect on milk production.

Average data permit first approach to Lacaune lactation curve. However, in order to predict milk yields and for further studies about factors that affect milk production (and lactation curve), an appropriate mathematical model is required. An important advance for milk producing species has been the adjustment of mathematical curves to the lactation curve (Wood, 1967). The adjustment can solve the problem of lack of continuous, daily and individual samples of animal's milk production, allowing a more in-depth analysis of factors and types of lactation curves. Really, what we do with the mathematical curve fitting is "fill in" the gaps in the sequence of samples over time, because without a solid line it would be impossible to continue evaluating and analyzing factors affecting these curves. Then, using the appropriate mathematical adjustment we can estimate the total production and predict future productions. Likewise, we can identify early animals with higher milk production potential (Morant and Gnanasakthy, 1989). This valuable information helps us in making decisions for reproductive programs (Barillet and Boichard, 1994), and in management strategies at farm level (Sakul and Boylan, 1992). Finally, these models are essential to study the factors affecting milk production (Morant and Gnanasakthy, 1989). Both linear and nonlinear methods of curve fitting have been used to describe lactation curves (Masselin et al., 1987).

To this end, we evaluated the fit of 11 mathematical functions to the lactation curve of Lacaune dairy sheep, both globally and at individual orders of lactation to determine the best model for the lactation

curve of Lacaune dairy sheep under intensive management conditions. After comparing the goodness-of-fit results of each model RMS and DW values showed that the Grossman, Pollott Additive and FP models had the smallest RMS, the biggest R^2 and the closest to 2 DW values. The Runs Test was conducted to determine whether residual values were random. The results show that Pollott Additive and FP models showed randomization of residuals for the most lactation numbers.

Fractional polynomials and Pollott Additive functions (Pollott and Gootwine, 2000) were then the most accurate and easy to apply functions to the Lacaune lactation curve in order to predict milk production. Both functions were those with the best fitting to the “real” lactation curve for both global lactation (LG, the average of all lactations) and those curves for the various orders of lactation (L1-L5) meaning order of lactation as successive lactations, after successive lambings. For the global lactation curve, the Pollott and FP functions were accurate at estimating total milk yield (deviations of <0.2 l) and the day of peak yield (deviation = 0). Both models overestimated the peak yield by <0.01 l and the persistency at day 150 of lactation was underestimated by 1.9 ml/day by both models. In general, the deviations of estimated values were very small in all cases for both. These results indicate that the most accurate and easy methods to fit an experimental Lacaune lactation curve in order to predict milk yields are the FP and the Additive Pollott functions (Pollott, 2000). Main advantage of Fractional polynomials function is its easy calculation, with no special software needed, doing it handy to use on farm, especially when aiming to achieve a good fit and when a large number of data are available, as in this study farm. On the other hand, the Pollott Additive function presents an added value associated with the possibility of a biological interpretation of its parameters, allowing us to conduct additional evaluations of the results, moreover it is applicable to a small number of milk production data per lactation, which, although is becoming each time less a problem, can itself be the reality of still many farms.

Finally, in the last phase of the work, after applying the model showing the better fit and more practical advantages of interpretation (Pollott additive mathematical model) to estimate complete lactation curves, we conducted a clustering analysis of the lactation curves. Cluster analysis, or clustering, involves grouping individuals into ‘clusters’ or ‘types’ such that members of one cluster are more similar to each other than to members of other clusters based on one or more characteristics. After clustering, explorative analyses can be performed to determine the specific characteristics of each cluster. This analysis identified four lactation types among Lacaune dairy sheep differing mainly in productivity (i.e. milk yield per lactation) and length of lactation. The so-called SL type involved short, less productive lactations, <23 weeks and produced >0.5 l/d, $n=2137$ (27.4% of the total), SN type involved short lactations of normal productivity, which lasted 427 weeks and produced >0.5 l/d, $n=2039$ (26.2%); LP type involved long and productive lactations, which lasted 437 weeks and produced >0.5 l/d, $n=2169$ (27.9%); and while the LVP type included long and extremely productive lactations, which lasted 443 weeks and produced >0.5 l/d, $n=1443$ (18.5%). It was observed, that the four lactation types differed mainly in curve shape and length, with the most productive lasting the longest and showing higher yield persistency. Additionally, the present

study found that mean milk yield declined with ewe age, confirming previous studies (Hernandez et al. 2011). Females with a mean AFL >420 d probably achieved maximal milk productivity at L1 because their udder development was complete by the time of their first lambing.

After identifying the different types of lactation curve, we tried to analyze the differential characteristics among the best and worst types of lactation curves. Thus, ewes with more productive lactation curves showed the following main differences compared with those sheep with the less productive lactations: a shorter previous dry period, longer interval between lambing's, being born in September, first lambing during the months of September-October and month of lambing in March, October and December. Moreover, to see the possible individual effect on lactation types, we compare lactation types for the same ewe between lactation numbers, 1534 sheep with complete L1 and L2 were analysed, 1456 with complete L2 and L3, 742 with complete L3 and L4, and 294 with complete L4 and L5. Most ewes tended to show lactations of the same type from one lactation number to the next.

Then, the main factors that seem to influence milk production in the Lacaune dairy sheep under intensive management conditions are age (or lactation number), length of the dry period, season / photoperiod and finally, the individual productive potential of each animal, which resulted to be also a determining factor.

These results provide novelty information, with high applicability to current commercial Lacaune dairy farms under intensive management conditions in our country and in many other regions, helping both technical and economic decisions on farm; as based on these results, we offer an on farm applicable method to adjust Lacaune lactation curves. Furthermore, we describe how we can take effective decisions based on the results of this data processing. Finally, we have identified factors that have proven to be significantly relevant over Lacaune dairy sheep productivity under intensive management conditions. Among them, dry period length, planned lambing dates, as well as genetic or individual productive potential, are some of the factors we can influence and modify through farm management; or at least use to improve our predictions and therefore, the flocks productivity. As we describe a very standardized and repeatable system, this information can be of great value and applicability in very different parts of the world, and even extrapolated, at least in the methodology to other breeds of sheeps.

ÍNDICE

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 53 |
| 1.1. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL SECTOR OVINO | 53 |
| 1.1.1. Importancia del ganado ovino | 53 |
| 1.1.2. Situación del ganado ovino en el mundo | 53 |
| 1.1.3. Situación del ganado ovino en la UE | 58 |
| 1.1.4. Situación del ganado ovino en España | 60 |
| 1.2. RAZAS OVINAS DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN LÁCTEA | 67 |
| 1.2.1. Principales razas de ovino lechero en España | 67 |
| 1.2.2. La raza lacaune | 72 |
| 1.3. LA CURVA DE LACTACIÓN | 79 |
| 1.3.1. Análisis descriptivo | 79 |
| 1.3.2. Modelos matemáticos de ajuste a la curva de lactación | 82 |
| 1.3.2.1. Modelos matemáticos descritos en la bibliografía | 83 |
| 1.3.2.2. Métodos de evaluación de la bondad de los modelos | 86 |
| 1.3.2.3. Modelos previamente descritos elegidos para el estudio | 89 |
| 1.3.2.4. Nueva estrategia de ajuste: Polinomios Fraccionales | 96 |
| 1.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA CURVA DE LACTACIÓN OVINA | 99 |
| 1.4.1. Factores intrínsecos | 100 |
| 1.4.1.1. Factores genéticos: genotipo, potencial productivo y programas de selección genética aplicados a la raza | 100 |
| 1.4.1.2. Factores fisiológicos | 101 |
| 1.4.2. Factores extrínsecos | 106 |
| 1.4.2.1. Alimentación | 106 |
| 1.4.2.2. Peso y reservas corporales | 107 |
| 1.4.2.3. Manejo reproductivo | 108 |
| 1.4.2.4. Recría de los corderos | 111 |
| 1.4.2.5. El ordeño | 112 |
| 1.4.2.6. Características del alojamiento | 116 |
| 1.4.2.7. Estado sanitario | 116 |

| | |
|--|------------|
| 1.5. ANÁLISIS DE TIPOLOGÍAS | 121 |
| <i>1.5.1. Método de determinación de tipologías</i> | <i>122</i> |
| <i>1.5.2. Descripción de las clases o tipologías</i> | <i>123</i> |
| <i>1.5.3. Aplicaciones del análisis de tipologías</i> | <i>124</i> |
| 2. JUSTIFICACIÓN. | 129 |
| 3. OBJETIVOS. | 135 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL | 135 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 135 |
| 4. CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA CURVA DE LACTACIÓN DE LA RAZA LACAUNE BAJO CONDICIONES DE PRODUCCIÓN INTENSIVAS | 139 |
| 4.1. INTRODUCCIÓN | 139 |
| 4.2. MATERIAL Y MÉTODOS | 139 |
| <i>4.2.1. Población del estudio</i> | <i>139</i> |
| <i>4.2.2. Registro e incorporación de datos</i> | <i>145</i> |
| <i>4.2.3. Clasificación y tipos de lactaciones</i> | <i>147</i> |
| <i>4.2.4. Parámetros calculados</i> | <i>148</i> |
| <i>4.2.5. Análisis estadístico</i> | <i>149</i> |
| 4.3. RESULTADOS | 150 |
| <i>4.3.1. Estudio descriptivo de la curva de lactación global de la oveja lacaune (LG)</i> | <i>150</i> |
| <i>4.3.2. Estudio descriptivo de las curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas en base al número de lactación</i> | <i>151</i> |
| <i>4.3.3. Estudio descriptivo de las curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas según su duración</i> | <i>154</i> |
| 4.4. DISCUSIÓN | 158 |
| <i>4.4.1. Curva de lactación global de la oveja lacaune (lg)</i> | <i>158</i> |
| <i>4.4.2. Curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas en base al número de lactación</i> | <i>161</i> |
| <i>4.4.3. Curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas según su duración</i> | <i>163</i> |
| 5. CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DEL MEJOR AJUSTE MATEMÁTICO DE LA CURVA DE LACTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA | 165 |
| 5.1. INTRODUCCIÓN | 165 |
| 5.2. MATERIAL Y MÉTODOS | 166 |
| <i>5.2.1. Población del estudio</i> | <i>166</i> |
| <i>5.2.2. Registro e incorporación de datos</i> | <i>166</i> |

| | |
|---|------------|
| 5.2.3. <i>Análisis estadístico: ajuste de las curvas a los modelos matemáticos y evaluación de la bondad de los mismos</i> | 166 |
| 5.2.3.1. <i>Ajuste de las curvas de lactación a los distintos modelos matemáticos elegidos para el estudio</i> | 166 |
| 5.2.3.2. <i>Evaluación de la bondad de los modelos desde un punto de vista matemático</i> | 169 |
| 5.2.3.3. <i>Caracterización de la curva por parte de los modelos preseleccionados respecto a la curva “real” observada desde un punto de vista productivo</i> | 169 |
| 5.2.3.4. <i>Interpretación biológica de la curva de lactación.</i> | 170 |
| 5.3. RESULTADOS | 171 |
| 5.3.1. <i>Ajuste de las diferentes funciones matemáticas a la curva de lactación lg y l1-l5.</i> | 171 |
| 5.3.2. <i>Bondad del ajuste a las curvas de lactación lg y l1-l5 obtenido con los modelos matemáticos</i> | 173 |
| 5.3.2.1. <i>Preselección de modelos en base al RMS y DW</i> | 173 |
| 5.3.2.2. <i>Métodos adicionales de análisis de la bondad del ajuste aplicados a los modelos preseleccionados</i> | 175 |
| 5.3.3. <i>Bondad de ajuste de los modelos preseleccionados desde un punto de vista productivo: caracterización de la curva</i> | 178 |
| 5.3.3.1. <i>Forma de la curva. Estudio descriptivo del ajuste de cada modelo respecto a las curvas “reales” LG y L1-L5</i> | 178 |
| 5.3.3.2. <i>Análisis descriptivo de la desviación entre la estimación del modelo y la producción semanal real observada en la lactación LG</i> | 180 |
| 5.3.3.3. <i>Principales parámetros de caracterización de la curva de lactación estimados por las funciones preseleccionadas para LG y L1-L5</i> | 182 |
| 5.3.4. <i>Selección definitiva de los mejores modelos de ajuste desde un punto de vista, tanto matemático como productivo.</i> | 185 |
| 5.3.5. <i>Ajuste de los modelos preseleccionados a los distintos tipos de curva en base a su duración</i> | 185 |
| 5.3.6. <i>Interpretación de los parámetros biológicos estimados por el modelo de pollott aditivo para las distintas curvas lg y l1-l5.</i> | 186 |
| 5.3.7. <i>Interpretación de los parámetros biológicos estimados por el modelo de Pollott aditivo para las distintas curvas LS, LM, LL y LXL.</i> | 188 |
| 5.4. DISCUSIÓN | 189 |
| 5.4.1. <i>Bondad ajuste modelos desde punto de vista matemático</i> | 189 |
| 5.4.2. <i>Bondad del ajuste de los modelos desde el punto de vista biológico</i> | 190 |
| 5.4.3. <i>Selección del modelo más apropiado de ajuste</i> | 190 |
| 5.4.4. <i>Interpretación de los parámetros biológicos</i> | 191 |

| | |
|---|------------|
| 6. CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA CURVA Y POR ENDE AL POTENCIAL PRODUCTIVO DE LA OVEJA DE RAZA LACAUNE | 195 |
| 6.1. INTRODUCCIÓN | 195 |
| 6.2. MATERIAL Y MÉTODOS | 196 |
| 6.2.1. Población del estudio. | 196 |
| 6.2.2. Registro e incorporación de datos | 196 |
| 6.2.3. Análisis de tipologías | 198 |
| 6.2.3.1. Determinación de las clases o tipologías | 198 |
| 6.2.3.2. Descripción de las clases o tipologías | 199 |
| 6.3. RESULTADOS | 199 |
| 6.3.1. Caracterización del rebaño | 199 |
| 6.3.2. Análisis de tipologías: tipos de lactación | 199 |
| 6.3.3. Caracterización de las curvas de lactación: | 202 |
| 6.3.3.1. Análisis de las variables cuantitativas | 202 |
| 6.3.3.2. Variables categóricas | 205 |
| 6.4. DISCUSIÓN | 208 |
| 6.4.1. Resultados productivos | 209 |
| 6.4.2. Resultados reproductivos | 210 |
| 6.4.2.1. Influencia de la edad | 211 |
| 6.4.2.2. Influencia del mes de nacimiento, mes del primer parto y mes del parto actual | 211 |
| 6.4.2.3. Efecto de la oveja individual sobre la curva de lactación | 212 |
| 7. DISCUSIÓN GLOBAL DE RESULTADOS | 215 |
| 7.1. HERRAMIENTAS PRÁCTICAS DE USO EN GRANJA | 219 |
| 7.1.1. Tiempo posparto para la cubrición de las ovejas | 219 |
| 7.1.2. Edad al primer parto | 219 |
| 7.1.3. Selección de las corderas de reposición | 220 |
| 7.1.4. Selección de ovejas a mantener o eliminar del rebaño | 220 |
| 8. CONCLUSIONES. | 225 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA. | 229 |
| 10. ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES. | 241 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Evolución de la producción mundial de leche en millones de Tm de las distintas especies (FAOSTAT, 2014)..... | 54 |
| Tabla 2. Millones de cabezas de las distintas especies productoras de leche en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)..... | 55 |
| Tabla 3. Producción en Tm de las distintas especies productoras de leche en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)..... | 56 |
| Tabla 4. Censo en millones de cabezas de ovino productor de leche y carne en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)..... | 57 |
| Tabla 5. Evolución de la producción de leche de oveja en miles de Tm en los principales países productores de la UE (FAOSTAT, 2014) | 59 |
| Tabla 6. Evolución de la producción de lechera en España por especies (MAGRAMA, 2013a)..... | 61 |
| Tabla 7. Clasificación de los principales grupos raciales ovinos lecheros en relación con su origen, tamaño y nivel productivo (Buxadé, 1996) | 67 |
| Tabla 8. Resumen de las características productivas de las principales razas ovinas lecheras utilizadas en España (Acero Adámez, 2009; Cambero Muñoz, 1999; FEAGAS, 2011; MAGRAMA, 2015; MARM, 2010). | 70 |
| Tabla 9. Características productivas de la raza lacaune bajo las condiciones productivas de distintos países | 74 |
| Tabla 10. Explotaciones españolas de lacaune incluidas en el programa de control lechero oficial: censo y resultados de las lactaciones completadas entre octubre de 2009 y 2010 | 77 |
| Tabla 11. Media y desviación estándar estimada de las principales características de la curva de lactación de las razas assaf ¹ (Pollott y Gootwine, 2004) y awassi ² (Gootwine y Pollott, 2000) | 82 |
| Tabla 12. Fórmula matemática de las funciones de Wood seleccionadas para el estudio | 90 |
| Tabla 13. Fórmula matemática de las funciones de Morant seleccionadas para el estudio..... | 91 |
| Tabla 14. Fórmula matemática de la función de Grossman seleccionadas para el estudio..... | 92 |
| Tabla 15. Fórmulas matemáticas de las funciones de Pollott seleccionadas para el estudio | 93 |
| Tabla 16. Media y desviación estándar de los principales parámetros estimados en la curva de lactación de las razas assaf (Pollott y Gootwine, 2004) y awassi mejorada (Pollott y Gootwine, 2000) bajo condiciones intensivas de producción | 95 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 17. Fórmula matemática de la función denominada polinomios fraccionales seleccionadas para el estudio..... | 97 |
| Tabla 18. Clasificación de las principales razas ovinas en relación con su nivel de producción láctea (Buxadé, 1996) | 100 |
| Tabla 19. Efecto del incremento de la frecuencia de ordeño sobre la producción de leche en ovino. El incremento aparece expresado como porcentaje respecto a dos ordeños diarios | 114 |
| Tabla 20. Pérdida de producción de leche al reducir de dos a uno el número de ordeños diarios | 115 |
| Tabla 21. Pérdida de producción de leche asociada a la supresión de uno o dos ordeños semanales | 115 |
| Tabla 22. Composición de la ración de alta y baja de la explotación..... | 141 |
| Tabla 23. Periodos de cubrición y paridera organizados a partir del año 2008 en la granja objeto de estudio | 142 |
| Tabla 24. Clasificación de las lactaciones en la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo en base a su duración (D)..... | 147 |
| Tabla 25. Media estimada para las principales características de la curva de lactación LG de la oveja lacaune bajo las condiciones intensivas de producción de nuestra explotación estudio | 151 |
| Tabla 26. Características productivas de las curvas de lactación de la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo, agrupadas en base al número de lactación: LG y L1-L5 | 153 |
| Tabla 27. Percentiles que reflejan la producción láctea acumulada de la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo en la LG y entre la primera y la quinta lactación (L1-L5) | 154 |
| Tabla 28. Percentiles que reflejan la duración (D) de la curva de lactación de la oveja lechera lacaune bajo condiciones intensivas de producción entre la primera y la quinta lactación..... | 154 |
| Tabla 29. Características de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base a la longitud de las mismas | 156 |
| Tabla 30. Distribución de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base a la longitud de la lactación (LS, LM, LL y LXL) para los distintos números de lactación | 157 |
| Tabla 31. Distribución de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base al número de lactación en los distintos grupos y a la duración de la lactación (LS, LM, LL y LXL) | 157 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 32. Media estimada para las principales características de la curva de lactación LG de la oveja lacaune de nuestra explotación estudio y de otras razas ovinas en régimen intensivo de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004)..... | 160 |
| Tabla 33. Fórmula matemática de las 11 funciones matemáticas de ajuste a curvas de lactación seleccionadas para el estudio sobre la curva de lactación de la oveja lacaune lechera, bajo condiciones de manejo intensivo y número de parámetros incluidos en cada función | 168 |
| Tabla 34. Valores de los parámetros de los principales modelos para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global (LG)..... | 172 |
| Tabla 35. Análisis de la bondad de ajuste según el RMS de los 11 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global..... | 173 |
| Tabla 36. Análisis de la bondad de ajuste según el análisis de DW de los 11 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global | 174 |
| Tabla 37. Análisis de la bondad de ajuste según el análisis de R^2 de los 13 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global (LG)..... | 175 |
| Tabla 38. Resultado del test de rachas de los modelos preseleccionados. La presencia de significancia indica ausencia de aleatorización | 176 |
| Tabla 39. Resultado de la prueba t de Student y Wilcoxon entre las series de los valores absolutos de los residuales mediante comparaciones pareadas entre los modelos..... | 177 |
| Tabla 40. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la lactación global (LG) y la estimación obtenida mediante los cinco modelos matemáticos preseleccionados | 183 |
| Tabla 41. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la curva real en las lactaciones L1-L5 y la estimación obtenida mediante los cinco modelos matemáticos preseleccionados..... | 184 |
| Tabla 42. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la curva real en las lactaciones agrupadas en base a la duración de su lactación (LS, LM, LL y LXL) y sus estimaciones por los dos modelos seleccionados..... | 186 |
| Tabla 43. Parámetros del modelo de Pollott Aditivo para las lactaciones LG y L1-L5..... | 187 |
| Tabla 44. Parámetros del modelo de Pollott Aditivo para las lactaciones clasificadas en base a la duración de la lactación: LS, LM, LL y LXL..... | 188 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 45. Variables descriptivas de cada curva de lactación de oveja lacaune lechera bajo condiciones intensivas de manejo, tanto datos registrados como parámetros calculados a partir de los anteriores..... | 197 |
| Tabla 46. Caracterización de las cuatro tipologías de lactación identificadas: LSI= cortas y poco productivas; LMN= cortas y producción normal; LLP= largas y productivas; LXLP= largas y muy productivas. Media global= curva global de todas las lactaciones. Los datos se muestran como media \pm SD..... | 203 |
| Tabla 47. Caracterización de los parámetros del modelo de Pollott Aditivo de las cuatro tipologías de lactación identificadas: LSI= cortas y poco productivas; LMN= cortas y producción normal; LLP= largas y productivas; LXLP= largas y muy productivas. Media global= curva global de todas las lactaciones. Los datos se muestran como media \pm SD | 204 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Evolución de la producción mundial de leche de las distintas especies por cada mil habitantes (la gráfica izquierda incluye todas las especies y la producción total, mientras que la derecha incluye sólo la leche de búfala, cabra, oveja y camella) (FAOSTAT, 2014)..... | 54 |
| Figura 2. Distribución de la producción de leche de oveja a nivel mundial (FAOSTAT, 2014)..... | 55 |
| Figura 3. Distribución, en Europa de las explotaciones y censo de distintos rumiantes entre zonas clasificadas o no como desfavorecidas (RICA, 2003)..... | 58 |
| Figura 4. Distribución de la producción de leche en España según especie (FAOSTAT, 2014) | 60 |
| Figura 5. Evolución de la producción de leche ovina en España (FAOSTAT, 2014) | 61 |
| Figura 6. Evolución de la producción de leche ovina por oveja en ordeño en litros en Castilla y León (1987-2010) (Rodríguez Ruiz, 2013) | 62 |
| Figura 7. Distribución porcentual de la producción de leche de oveja en las distintas CC.AA. de España en el año 2013 (MAGRAMA, 2013b) | 63 |
| Figura 8. Representación esquemática de la curva de lactación de la vaca lechera (Masselin et al., 1987). PTL = producción total de la lactación; PLi = producción láctea inicial; PLmax = pico de máxima producción láctea; Tmax = día/sem del PLmax; CrP = ritmo de crecimiento; PerL = persistencia de la producción 150 d en leche; DEL= días en leche; D = duración de la lactación | 79 |
| Figura 9. Curvas de lactación del ganado ovino. Fuente: Molina (1987) En (Buxadé, 1996) | 81 |
| Figura 10. Comparación de las curvas de lactación “típicas” de la raza assaf ▲ y awassi — (Pollott y Gootwine, 2004)..... | 95 |
| Figura 11. Producción total (l) según el mes de inicio de la lactación en ovejas de raza awasi mejorada bajo condiciones intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000)..... | 104 |
| Figura 12. Objetivo de condición corporal (CC) a lo largo del ciclo productivo de las ovejas lecheras (Cannas, 2004b) en base a (INRA, 1988) DEL = días en leche | 108 |
| Figura 13. Producción total de la lactación y longitud de la lactación ▲ en relación al mes del parto en que tiene lugar la concepción (Pollott y Gootwine, 2004) | 109 |
| Figura 14. Parámetros de caracterización de la curva de lactación ovina (Masselin et al., 1987) modificado. PTL producción total de la lactación; PLi producción láctea inicial; PLmax pico de máxima producción láctea; Tmax día/sem del PLmax; CrP ritmo de crecimiento; PerL persistencia de la producción 150 d en leche; D duración de la lactación. | 149 |

| | |
|---|-----|
| Figura 15. Valores medios semanales de producción láctea (l) de ovejas lecheras de raza lacaune bajo manejo intensivo hasta la semana 40 de lactación, obtenidos a partir de los registros de 7.873 lactaciones completas..... | 150 |
| Figura 16. Valores medios semanales de producción láctea (l) de la oveja lechera lacaune bajo condiciones de manejo intensivo entre la primera a quinta lactación (L1-L5) y global (LG) hasta la semana 40 de lactación, obtenidos a partir de los registros de 7.873 lactaciones completas. | 152 |
| Figura 17. Valores medios de producción láctea diaria (l) de la oveja lechera lacaune bajo condiciones intensivas de producción por semana de lactación en los distintos tipos de curva agrupadas en función de la duración de la lactación: LS = lactaciones con $D \leq 19$ semanas; LM = lactaciones $20 > D \leq 29$ semanas; LL = lactaciones $30 > D \leq 39$ semanas; LXL = lactaciones $D \geq 40$ semanas. | 155 |
| Figura 18. Estimación de la curva de lactación de la oveja lacaune bajo condiciones tradicionales de manejo (Oravcová et al., 2006) | 158 |
| Figura 19. Comparación de las curvas de lactación “típicas” de la raza assaf ▲, awassi — (Pollott y Gootwine, 2004) y la curva global de la raza lacaune — de nuestro estudio..... | 159 |
| Figura 20. Producción láctea diaria (l) para cada semana de lactación a partir de los datos reales (7.873 lactaciones completas; LG) y la estimación por parte de los cinco modelos preseleccionados. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpmr2= LG modelo de Pollott Mult red 2 variables; LGpmr3= LG modelo de Pollott Mult red 3 variables; LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales y LGReal= curva LG “real” observada..... | 178 |
| Figura 21. Producción láctea diaria (l) para cada semana de lactación a partir de los datos reales (2.718 primeras lactaciones (L1), 2.343 segundas (L2), 1.623 terceras (L3), 843 cuartas (L4) y 346 quintas lactaciones (L5) y la estimación de cada una de ellas por parte de los cinco modelos preseleccionado: Grossman, Pollott Aditivo, Pollott Multiplicativo reducido de 3 y 2 variables y Polinomios Fraccionales (PF)..... | 179 |
| Figura 22. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpmr2= LG modelo de Pollott Mult reducido 2 variables; LGpmr3= LG modelo de Pollott Mult reducido 3 variables; LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales y LGReal= curva LG “real” observada | 180 |
| Figura 23. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpmr2= LG modelo | |

| | |
|---|-----|
| de Pollott Mult reducido 2 variables; LGpmr3= LG modelo de Pollott Mult reducido 3 variables y LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales. | 181 |
| Figura 24. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman = LG modelo Grossman; LGpa6 = LG modelo Pollott Aditivo y LGpf = LG modelo Polinomios Fraccionales | 182 |
| Figura 25. Árbol jerárquico obtenido tras realizar el análisis de tipologías incluyendo los valores medios semanales de 7.788 lactaciones completas de ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo. Se diferenciaron claramente cuatro tipologías o cluster..... | 200 |
| Figura 26. Histograma de los índices de agregación obtenido tras realizar el análisis de tipologías incluyendo los valores medios semanales de 7.788 lactaciones completas de ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo..... | 201 |
| Figura 27. Curva de lactación media de cada tipología identificada por el análisis de tipologías de las 7.788 lactaciones de ovejas lacaune bajo manejo intensivo. Las siguientes tipologías fueron identificadas: LSI= lactaciones cortas y poco productivas (n=2.137); LMN= lactaciones cortas y producción normal (n=2.039); LLP lactaciones largas y productivas (n=2.169); LXLP lactaciones largas y muy productivas (n=1.443) y Mean que es LG= lactación media..... | 201 |
| Figura 28. Distribución de cada tipología en los distintos números de lactación para las 7.788 lactaciones de ovejas lacaune bajo manejo i taciones cortas y producción normal (n=2.039); LLP= lactaciones largas y productivas (n=2.169); LXLP= lactaciones largas y muy productivas (n=1.443) y LG = lactación media muestra global de todas las lactaciones (n=7.488)..... | 206 |
| Figura 29. Proporción de ovejas de cada tipología de lactación en cada lactación (L1 a L5), en base a la tipología de la lactación previa. Los tipos se definen en la figura 28. La lactación media muestra los datos agregados para cada número de lactación. Las proporciones de cada número de lactación fueron significativamente diferentes a los de la lactación media (P<0,001). | 207 |

INDICE DE ESQUEMAS

| | |
|---|----|
| Esquema 1. Modelos matemáticos descritos para el ajuste de la curva de lactación..... | 84 |
| Esquema 2. Métodos de evaluación de la bondad de ajuste de modelos matemáticos a curvas de lactación | 86 |
| Esquema 3. Factores que afectan a la curva de lactación de las ovejas lecheras | 99 |

INDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|-----|
| Imagen 1. Ovejas de la explotación objeto del estudio en el patio de producción. | 140 |
| Imagen 2. Nave 1 de producción de la explotación con acceso al unifeed (foto de Fernando Hernández). <i>Características productivas de la oveja lacaune bajo un sistema de producción intensiva en España</i> | 142 |
| Imagen 3. Grupo de sementales de la explotación objeto del estudio | 143 |
| Imagen 4. Inseminación artificial en la granja objeto del estudio (foto de Fernando Hernández). | 144 |
| Imagen 5. Sala de ordeño tipo casse de 2x50x50 y tanques de leche de la explotación objeto de estudio..... | 144 |
| Imagen 6. Corderas de reposición en fase lactante en uno de los corrales con nodriza. | 145 |

ABREVIATURAS

Abreviaturas generales

aC = antes de Cristo

Tm = tonelada métrica

Kg = kilogramo

L = litro

D.O.P. = Denominación de Origen Protegida

O.C.M.= Organización Común de Mercados

PAC = Política Agraria Comunitaria

INLAC = Organización Interprofesional Láctea

CC.AA. = Comunidades Autónomas

MAGRAMA = Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MARM = Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

AESLA = Asociación Española de Criadores de Raza lacaune

Caracterización de la lactación

EPP = edad al primer parto

IPP = intervalo parto-parto

Edad = edad de la lactación actual en años

DEL = días en leche de la lactación

DPS = duración del periodo seco

PDEL =producción por día en lactación

P-PTL = producción total de la lactación previa

P-PDEL = DEL de la lactación previa

P-DPS = DPS de la lactación previa

MNac = mes de nacimiento

MP = mes de parto

CC = condición corporal

Descripción de la curva de lactación

D = duración de la lactación

PTL = producción total de la lactación

PLi = producción láctea inicial

PLmax = pico de máxima producción láctea

Tmax = día en que se alcanza el PLmax

CrP = ritmo de crecimiento de producción

PerL = persistencia de la producción ()

Per70 = persistencia a día 70 de lactación

Per105 = persistencia día 105 de lactación

Per150 = persistencia a día 150 de lactación

Bondad ajuste curvas de lactación

PF = polinomios fraccionales

RMS = análisis de la media de cuadrados de los residuales

DW = análisis de Durbin Watson

R^2 = coeficiente de determinación

Parámetros biológicos de la curva de lactación

MS = máximo potencial secretor

NO = proporción de células secretoras presentes al inicio de la lactación

GR = tasa de proliferación relativa del número de células secretoras

MSL = máxima pérdida de secreción

NOD = proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación

DR = tasa de reducción del número de células secretoras

Clasificación de las lactaciones

LG = lactación global

Li = número de lactación, i =1-5

LS = lactaciones con $D \leq 19$ semanas

LM = lactaciones $20 > D \leq 29$ semanas

LL = lactaciones $30 > D \leq 39$ semanas

LXL = lactaciones $D \geq 40$ semanas.

Tipologías de lactaciones

LSI = lactaciones cortas y poco productivas o improductivas con duración ≤ 23 semanas

LMN = lactaciones cortas y normales con duración ≤ 27 semanas

LLP = lactaciones largas y productivas con duración ≤ 37 semanas

LXLP = lactaciones largas y muy productivas con duración ≤ 43 semanas

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DEL SECTOR OVINO

1.1.1. Importancia del ganado ovino

La domesticación de la especie ovina (*Ovis aries*) parece que tuvo lugar en Asia menor y Asia Central en el periodo Neolítico extendiéndose posteriormente a Europa y al norte de África, de modo que se estima llegarían probablemente a la península ibérica hacia el quinto milenio a. C. Los ovinos domésticos se han explotado desde la antigüedad para la producción de lana y pieles para el vestido, y de leche y carne para alimento (Buxadé, 1996; Daza Andrada, 2002; FAOSTAT, 2014).

El interés zootécnico de la especie se basa en su eficacia para aprovechar zonas áridas y semiáridas de baja disponibilidad forrajera, zonas de monte de topografía accidentada y subproductos y residuos de cultivos agrícolas, dando lugar a productos de altísima calidad y valor: cordero lechal, quesos, lana y peletería (Buxadé, 1996; Daza Andrada, 2002). Además, en su explotación participan aspectos históricos y culturales asociados a la transformación y el consumo de la leche de oveja y sus derivados (Buxadé, 1996).

Por otro lado, la explotación ovina se justifica por motivos medioambientales, comerciales y sociológicos. En los países en vías de desarrollo el ganado ovino es un elemento fundamental en las economías de subsistencia, mientras que en los países desarrollados también desempeña un papel muy relevante frenando la despoblación humana del campo y ayudando al mantenimiento del medio rural (Daza Andrada, 2002). Además, el ovino, bajo condiciones extensivas o semiextensivas, contribuye al mantenimiento de los ecosistemas, siendo un sistema eficaz para la prevención de incendios (Daza Andrada, 2002).

1.1.2. Situación del ganado ovino en el mundo

Según los últimos datos oficiales de la FAO (FAOSTAT, 2013), la producción mundial de leche se estima en aproximadamente 753 millones de toneladas métricas (Tm) siendo cinco las principales especies productoras: vaca, búfala, cabra, oveja y camella. La tabla 1 y figura 1 muestran la evolución de la producción láctea global, poniendo en evidencia cómo la producción mundial de leche está en continuo crecimiento. Dicho incremento se debe en parte, al crecimiento de la población y en parte, al mayor consumo de leche total por habitante, si bien este último se asocia principalmente a la leche de vaca y búfala (ver figura 1). En 2012 la producción láctea por especies en millones de Tm fue de 625,7 de vaca, 97,4 de búfala, 17,8 de cabra, 10,1 de oveja y 2,8 de camella (ver tabla 1).

Tabla 1. Evolución de la producción mundial de leche en millones de Tm de las distintas especies (FAOSTAT, 2014)

| | 2003 | 2005 | 2007 | 2009 | 2011 | 2012 |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Leche de vaca | 519,79 | 546,19 | 575,02 | 591,60 | 612,77 | 625,75 |
| Leche de búfala | 73,50 | 78,78 | 84,28 | 88,33 | 95,67 | 97,42 |
| Leche de cabra | 14,35 | 15,08 | 15,99 | 16,52 | 17,69 | 17,84 |
| Leche de oveja | 8,65 | 9,02 | 9,20 | 9,49 | 9,93 | 10,12 |
| Leche de camella | 1,81 | 1,81 | 2,51 | 2,75 | 2,91 | 2,78 |
| Leche Total | 618,10 | 650,88 | 687,01 | 708,69 | 738,97 | 753,91 |

El animal más frecuentemente utilizado para producir leche es la vaca, ocupando el ovino, con una producción de unos 10 millones de Tm, el cuarto lugar entre las especies productoras de leche (tablas 1 y 3; figura 1).

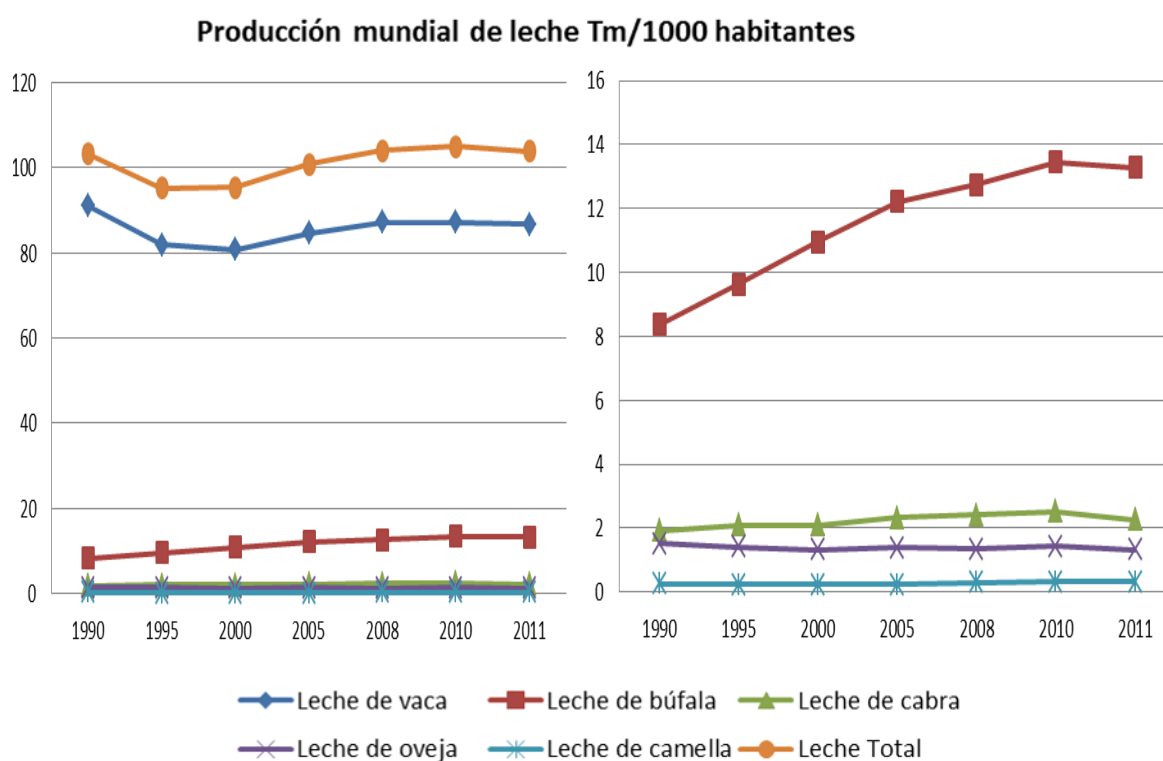


Figura 1. Evolución de la producción mundial de leche de las distintas especies por cada mil habitantes (la gráfica izquierda incluye todas las especies y la producción total, mientras que la derecha incluye sólo la leche de búfala, cabra, oveja y camella) (FAOSTAT, 2014)

El ganado ovino cuenta con un censo global de aproximadamente 718 millones de cabezas, de las cuales, alrededor de 217 millones son ovejas de leche (FAOSTAT, 2014; tabla 2). Se estima, por tanto, que como mínimo, una de cada cuatro ovejas existentes en el mundo se ordeña total o parcialmente durante la lactación (Buxadé, 1996), siendo la producción de carne la principal utilidad de esta especie.

Tabla 2. Millones de cabezas de las distintas especies productoras de leche en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)

| Continente | Vaca | Oveja | Cabra | Búfala | Camella |
|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| África | 66,87 | 74,72 | 71,14 | 1,70 | 5,42 |
| América | 53,62 | 1,48 | 9,11 | | |
| Asia | 104,93 | 109,82 | 108,12 | 58,47 | 0,66 |
| Europa | 37,69 | 31,05 | 9,09 | 0,25 | 0,0004 |
| Oceanía | 6,76 | | 0,001 | | |
| TOTAL | 269,88 | 217,07 | 197,46 | 60,42 | 6,08 |

A pesar de que en términos absolutos, la producción de leche de oveja representa sólo el 1,34% de la producción mundial de leche (Buxadé, 1996), la importancia del sector ovino varía entre continentes y países según las necesidades y condiciones particulares de cada lugar (tablas 2 y 3). De hecho, tal y como podemos apreciar en la figura 2, la distribución mundial no es nada homogénea sino que se encuentra concentrada en determinadas regiones.

Además, las antiguas vías de difusión de los rebaños y los factores socioeconómicos han marcado la actual localización geográfica de la producción de leche de oveja en el mundo (ver figura 2).

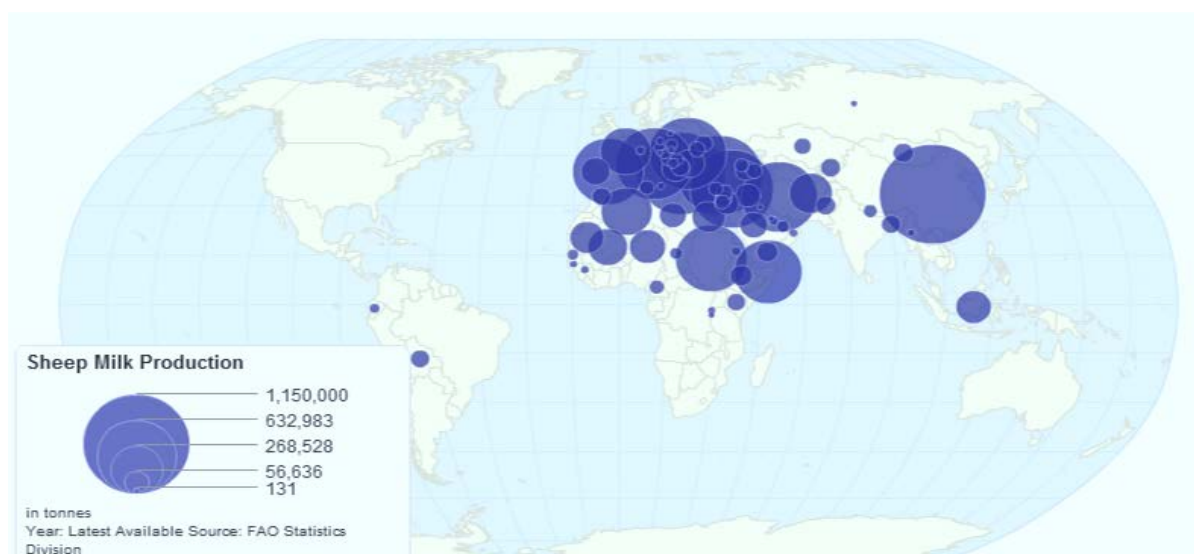


Figura 2. Distribución de la producción de leche de oveja a nivel mundial (FAOSTAT, 2014)

Así, los sistemas de producción de leche ovina son propios de algunas áreas como Asia interior, Oriente Próximo y el área mediterránea, donde el ganado ovino cuenta con una especial valoración y tradición productiva (Caja y Such, 1991; Buxadé, 1996). En la Tabla 3 se muestra la producción de leche de oveja en los diferentes continentes del mundo.

La mayor parte de la producción ovina tiene lugar en Asia, donde se produce el 46% de la leche ovina a nivel mundial y donde el ovino cuenta con el mayor censo (50% del censo mundial), tanto para producción láctea como cárnica (ver tabla 3; figura 2). El principal país productor es China que cuenta con 43,8 millones de ovejas lecheras y 134 millones de ovejas destinadas a la producción cárnica.

Tabla 3. Producción en Tm de las distintas especies productoras de leche en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)

| Continente | Vaca | Oveja | Cabra | Búfala | Camella |
|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| África | 34,31 | 2,34 | 4,31 | 2,65 | 2,59 |
| América | 181,74 | 0,04 | 0,59 | | |
| Asia | 169,77 | 4,73 | 10,41 | 94,57 | 0,19 |
| Europa | 210,34 | 3,02 | 2,54 | 0,20 | 0,00007 |
| Oceanía | 29,60 | | 0,00005 | | |
| TOTAL | 625,75 | 10,12 | 17,85 | 97,42 | 2,79 |

El segundo continente productor de ovino es África, que cuenta con el 23% de la producción mundial de leche y el 34% del censo ovino lechero mundial. Además, cuenta con el 22% del censo mundial de ovino de carne. La mayor parte de la producción se sitúa en Sudán con 28 millones de ovejas lecheras y 25 millones destinados a la producción de carne (FAOSTAT, 2014).

En Europa, tercer continente en censo de ovejas (14% del censo mundial), la mayor parte del censo se destina a la producción cárnica (69,1% del censo ovino se corresponde con ovino de carne, ver tabla 4). No obstante, a pesar de contar con un censo mucho menor de ovejas destinadas a la producción láctea (14,3% del censo mundial de ovino lechero), dadas sus elevadas producciones, éstas originan un 29% de la producción láctea a nivel mundial. Dentro de Europa, el país con mayor ovino lechero es Rumanía, seguido por Grecia, Italia y España (8,4; 7,2; 5,5 y 2,8 millones de cabezas, respectivamente); mientras, en producción cárnica, Gran Bretaña es el mayor productor con 13,7 millones de cabezas, seguido de España con 10,5 millones de cabezas (FAOSTAT, 2014).

Con menor importancia, Oceanía cuenta sólo con ovino de carne repartiéndose casi por igual entre Australia y Nueva Zelanda (24,9 y 22,9 millones de cabezas cada uno); mientras que en América, el

mayor productor de ovino lechero (1,2 millones) es Bolivia y de ovino de carne es Brasil (5,3 millones), seguido por Argentina (4,6 millones) (FAOSTAT, 2014).

Cabe sin embargo, destacar la ausencia de datos relativos al censo y a la producción de leche de algunos países como la India, donde a pesar de contar con elevado censo ovino lechero posee una actividad de ordeño destinada al autoconsumo familiar y que por tanto no figura en las estadísticas oficiales (Buxadé, 1996; FAOSTAT, 2014). Igualmente resulta muy difícil estimar el consumo real de leche en este país, debido a que la mayoría de los productores son propietarios de pequeñas explotaciones de autoconsumo en su totalidad o que hacen venta directa al consumidor (Sánchez-Rodríguez, 2011).

Tabla 4. Censo en millones de cabezas de ovino productor de leche y carne en los distintos continentes en el año 2012 (FAOSTAT, 2014)

| Continente | Ovino lechero | Ovino carne | Censo total |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| África | 74,72 | 119,32 | 194,04 |
| América | 1,48 | 25,66 | 27,14 |
| Asia | 109,82 | 267,68 | 377,5 |
| Europa | 31,05 | 75,22 | 106,27 |
| Oceanía | - | 47,88 | 47,88 |
| TOTAL | 217,07 | 535,75 | 752,82 |

El subsector del ovino lechero a pesar de tener poco impacto como proveedor de leche a nivel mundial, ya que sólo representa el 1,7% de la producción láctea mundial, tiene una gran importancia cualitativa debido a su repercusión social (fijación de población rural, conservación medioambiental, etc.) junto al hecho de ser la base para la elaboración de productos de alta calidad, circunscritos a ciertas regiones, que contribuyen notablemente al desarrollo económico (Buxadé, 1996).

En este sentido, en los países en vías de desarrollo, dado que los pequeños rumiantes participan en gran medida en la denominada “economía de subsistencia” juegan un papel muy importante, albergando éstos un 65% de censo ovino mundial. Los pequeños rumiantes (ovino y caprino) son importantes en estos países, dados sus reducidos requerimientos y su habilidad a la hora de convertir subproductos y residuos agrícolas y domésticos en carne, fibra, pieles y leche de alta calidad (Buxadé, 1996; Gutierrez-A, 1985).

También en Europa se considera que el ganado ovino tiene un papel relevante en la fijación de población humana en regiones desfavorecidas dado que sus características etológicas y fisiológicas permiten su explotación en medios difíciles para otros rumiantes más exigentes como los bovinos: son capaces de pastar y mejorar las formaciones vegetales de la estepa de matorral mediterráneo; cuentan con un

periodo de lactancia reducida (3-4 meses) lo que reduce las necesidades hídricas permitiendo una mejor adaptación a climas áridos; y tienen la capacidad de desplazarse largas distancias sin disminuir su productividad (Meuret, 2006; Poux et al., 2009). De hecho, tal y como se puede apreciar en la figura 3, más del 90% del censo de ovino en Europa se sitúa en zonas desfavorecidas.

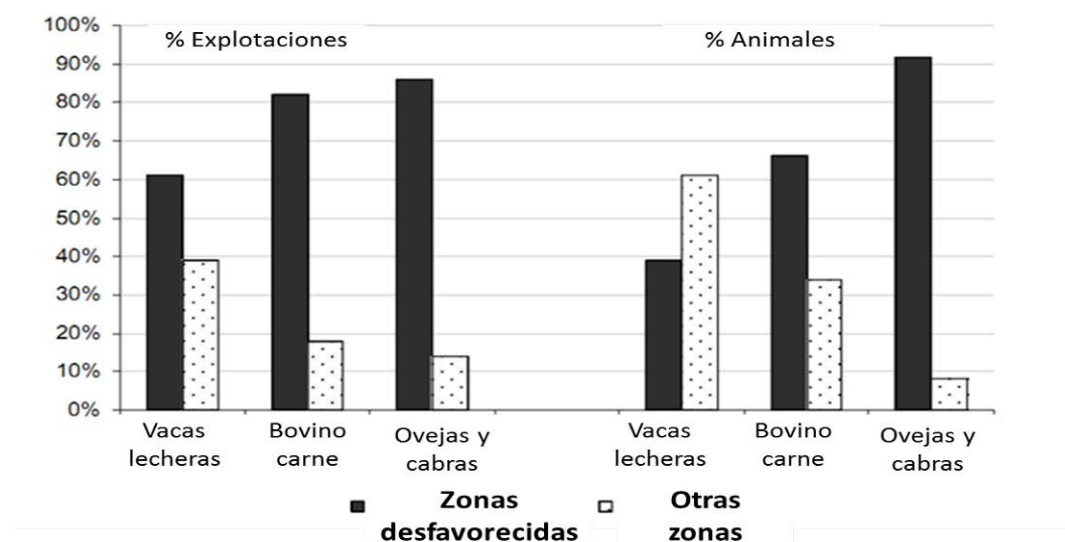


Figura 3. Distribución, en Europa de las explotaciones y censo de distintos rumiantes entre zonas clasificadas o no como desfavorecidas (RICA, 2003)

Además, el hecho de que el ovino extensivo y semiextensivo ocupe frecuentemente espacios seminaturales hace que tenga un impacto positivo en el mantenimiento de la biodiversidad y la lucha contra los incendios (Daza Andrada, 2002; Mollard et al., 2002).

Por otro lado, en Europa los grandes quesos son elaborados a partir de leche de oveja, como el Manchego en España, el Roquefort en Francia o el Pecorino en Italia. Además, otra parte de la producción ovina lechera se destina al sector industrial, para la transformación en productos derivados, no diferenciados, como el yogur, la cuajada, la mantequilla y el queso mezcla (Sánchez-Rodríguez, 2011).

1.1.3. Situación del ganado ovino en la UE

Dentro del continente europeo, la Unión Europea produce casi un 30% de toda la leche de oveja a nivel mundial, suponiendo el 93% de la producción de Europa (FAOSTAT, 2014). Dentro de la UE la producción de leche de oveja no ha parado de crecer desde 1980, pasando de poco más de 2.300 millones de litros en ese año a superar los 2.790 millones de litros en 2012, lo que supone un incremento cercano al 20% (ver tabla 5). Esta evolución se debe, tanto al aumento de la población, como del consumo de quesos de calidad y de las exportaciones a terceros países (Sánchez-Rodríguez, 2011).

La producción de leche de oveja en la UE se centra en el área mediterránea y del mar Negro, siendo sólo testimonial en el resto de su geografía. Destacan como principales países productores Grecia, Rumanía, España, Italia y Francia, en este orden (ver tabla 5). La evolución en estos países durante los últimos años no ha sido uniforme. Así, la producción se ha incrementado en Grecia, España, Rumanía, Francia y Portugal, mientras que ha descendido en Italia y Bulgaria, y se ha desplomado en Hungría y Polonia.

Tabla 5. Evolución de la producción de leche de oveja en miles de Tm en los principales países productores de la UE (FAOSTAT, 2014)

| Países | 1980 | 1990 | 2000 | 2012 |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Grecia | 571,85 | 673,52 | 743,24 | 699,50 |
| Rumanía | 347,80 | 403,90 | 320,80 | 650,09 |
| España | 197,33 | 329,91 | 392,04 | 552,51 |
| Italia | 607,60 | 663,40 | 741,90 | 406,17 |
| Francia | 142,60 | 240,32 | 253,91 | 274,68 |
| Bulgaria | 299,18 | 272,11 | 96,65 | 87,40 |
| Portugal | 85,19 | 91,25 | 103,93 | 71,48 |
| Austria | 3,30 | 4,90 | 7,38 | 10,64 |
| Eslovaquia | 0 | 0 | 11,17 | 10,00 |
| República Checa | 0 | 0 | 1,20 | 2,60 |
| Malta | 0,55 | 0,44 | 2,00 | 1,70 |
| Hungría | 45,13 | 4,87 | 3,20 | 1,60 |
| Eslovenia | 0 | 0 | 0,37 | 0,61 |
| Polonia | 7,90 | 7,24 | 1,03 | 0,48 |
| TOTAL | 2.308,43 | 2.691,86 | 2.678,82 | 2.769,46 |

Un análisis más profundo pone de manifiesto diferencias entre los países productores. Francia es el país con los sistemas más productivos y estructurados, produciendo 200 kg de media por oveja y año, para productos tipificados y de alto valor. En el otro extremo se encuentran Grecia y Rumanía con sistemas de producción extensivos y poco especializados (106 y 83 kg/oveja/año), donde la mayoría de las ovejas se ordeñan ocasionalmente para la elaboración de productos locales (en muchos sistemas de producción griegos se ordeñan juntas ovejas y cabras). Finalmente, en una situación intermedia se encuentran España (180 kg/oveja/año) y Portugal (185 l/oveja/año), donde conviven aún sistemas tradicionales con otros ya intensificados (Sánchez-Rodríguez, 2011).

1.1.4. Situación del ganado ovino en España

La llegada de la oveja doméstica procedente de Asia a nuestra península tuvo probablemente lugar desde África. Las primeras referencias a ovinos con una antigüedad de 3.700 años las encontramos en los grabados murales del Valle de las Batuecas de Salamanca, y ya en la época de los fenicios y romanos la lana procedente de las ovejas de nuestra península era muy apreciada (Cambero Muñoz, 1999). Según diversos datos históricos recopilados por Daza-Andrada (2002), el censo ovino español ocupó desde la Alta Edad Media un lugar destacado en el contexto europeo, siendo el máximo productor y exportador de lana fina desde finales del siglo XIII hasta la segunda mitad del siglo XIX.

Posteriormente, el censo se fue reduciendo drásticamente debido a factores políticos, sociológicos, técnicos y comerciales entre los que cabe destacar, por un lado, la reducción de la superficie de pastos y cultivos forrajeros derivada de la política proteccionista de la postguerra hacia los cultivos cerealistas; por otro, la revolución industrial que provocó la emigración de jóvenes pastores a las áreas industriales y finalmente, la caída del precio de la lana o el aumento progresivo del coste de la mano de obra (Daza-Andrada, 2002). Sin embargo, la entrada en la Unión Europea, deficitaria en carne de ovino, provocó un incremento censal ante las buenas previsiones comerciales que también ocasionó un incremento del censo de ovejas productoras de leche (Sánchez-Rodríguez, 2011).

En la actualidad, el ganado ovino lechero en España tiene más relevancia que en la media de la UE, siendo en el año 2012 el porcentaje de leche de oveja respecto del total de leche producida de un 7,6%, mientras que en la UE la leche de oveja supone sólo un 1,4% tal y como se ve en la figura 4 y tabla 6 (FAOSTAT, 2014).

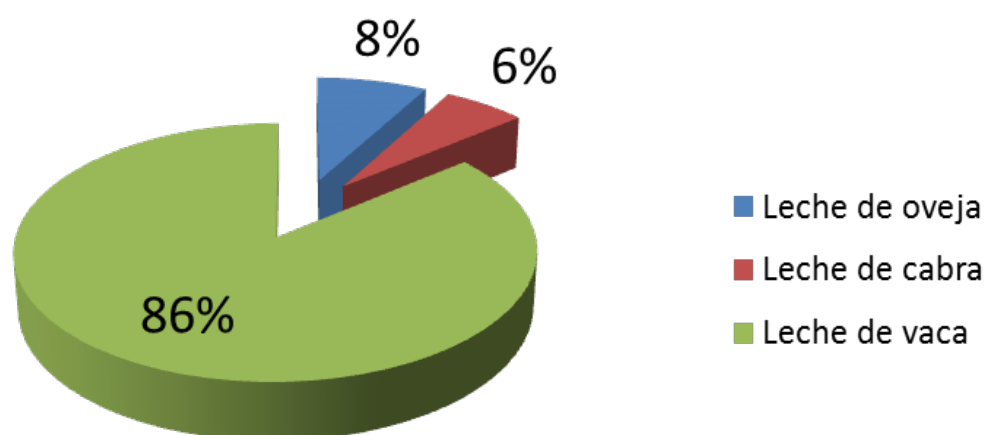


Figura 4. Distribución de la producción de leche en España según especie (FAOSTAT, 2014)

Tabla 6. Evolución de la producción de lechera en España por especies (MAGRAMA, 2013a)

| Año | Total | Leche vaca | de | Leche de cabra | Leche oveja | de | % Leche total | Leche oveja/ |
|------|-------|------------|----|----------------|-------------|----|---------------|--------------|
| 2002 | 7.337 | 6.418 | | 513 | 406 | | 5,5 | |
| 2004 | 7.274 | 6.384 | | 410 | 410 | | 5,6 | |
| 2006 | 7.108 | 6.192 | | 492 | 424 | | 6,0 | |
| 2008 | 7.075 | 6.157 | | 491 | 427 | | 6,0 | |
| 2010 | 7.245 | 6.172 | | 507 | 566 | | 7,8 | |
| 2012 | 7.309 | 6.313 | | 444 | 553 | | 7,6 | |
| 2013 | 7.404 | 6.368 | | 457 | 579 | | 7,9 | |

En nuestro país, existen 2,85 millones de ovejas lecheras, un 21% del total del censo ovino, repartidas en explotaciones de tamaño medio, la mayoría de ellas de tipo familiar. La producción de leche se ha incrementado en más de un 50% en las dos últimas décadas hasta los 550 mil Tm actuales (FAOSTAT, 2014).

Producción de leche de ovino en España

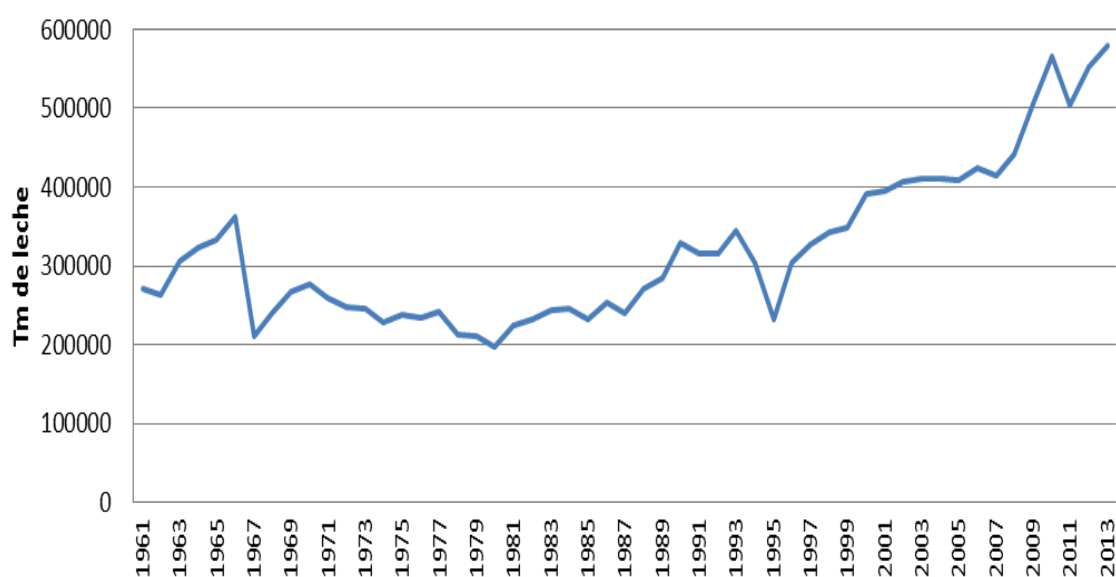


Figura 5. Evolución de la producción de leche ovina en España (FAOSTAT, 2014)

En el periodo entre 1961-2012 se produjo un importante incremento de la producción de leche de oveja en España. Este aumento tuvo lugar a pesar del descenso en el censo lechero que disminuyó de 3,5 a 3,1 millones y la reducción del 30% de las explotaciones entre 1996-2005 (Valentín-Gamazo, 2008),

debido al incremento de la productividad media por oveja y del tamaño medio de los rebaños (Rodríguez Ruiz, 2013).

De hecho en Castilla y León se ha producido un incremento paulatino de la producción individual de leche por oveja, pasando de los 66,4 kg/oveja en 1987 a 180,1 kg/oveja en el año 2010; con un crecimiento medio anual en el periodo de 4,9 kg de leche/oveja. El mayor crecimiento se produjo en los últimos diez años con un incremento de producción por oveja lechera del 65,1% (figura 6).

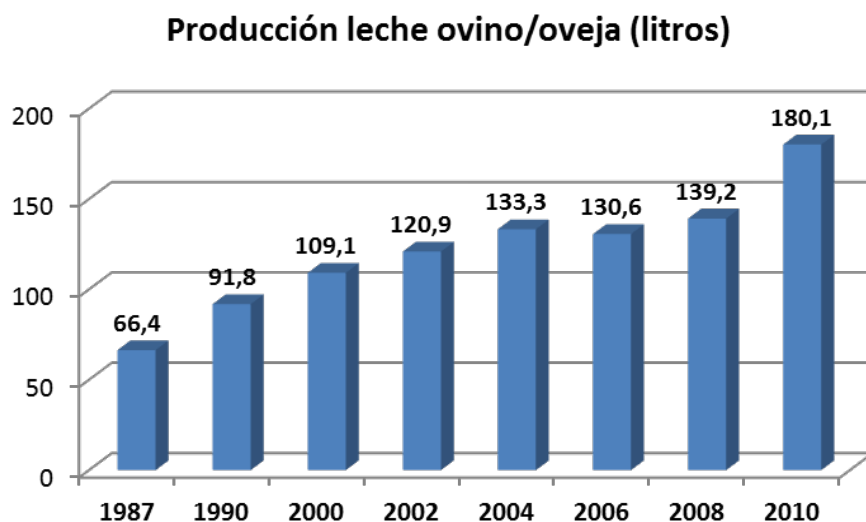


Figura 6. Evolución de la producción de leche ovina por oveja en ordeño en litros en Castilla y León (1987-2010) (Rodríguez Ruiz, 2013)

El incremento de producción de leche de oveja acontecido en los últimos años (figuras 5-6) se ha debido a varias causas (Caja y de Rancourt, 2002):

- La demanda creciente de productos de leche de oveja (quesos mezcla, cuajadas y yogures, principalmente) que han incrementado el precio de la leche, especialmente en las regiones con Denominación de Origen Protegida (D.O.P.). La producción de queso ha pasado de 27.600 toneladas en el año 2000 a 44.800 toneladas en el año 2010 (FENIL, 2012).
- Este incremento de la demanda ha tenido como consecuencia un aumento en el precio de la leche de oveja de los 77,9 euros/100 litros de 2002 hasta alcanzar en el año 2013 el pago al ganadero los 87,9 euros/100 litros, si bien ha habido fluctuaciones de precios a lo largo del periodo, y considerables mejoras en la modernización de las estructuras productivas pasando de los sistemas ganaderos tradicionales a sistemas semiintensivos e intensivos, con la generalización del ordeño mecánico, mejora de la alimentación, reproducción, sanidad y

selección genética de las razas (Caja y de Rancourt, 2002; Rodríguez Ruiz, 2013; Ugarte et al., 2001)

- Además, con el objeto de incrementar la productividad y dada la disponibilidad de reproductores de alto potencial productivo a precios asequibles se han introducido razas foráneas especializadas en la producción láctea con difusión de las razas awassi y assaf cruzadas con nuestras razas autóctonas; así como incorporación de corderas principalmente de raza lacaune
- Las medidas europeas de regulación de la producción de la leche de vaca a diferencia del ovino, hecho que ha podido llevar a la reconversión en ciertas regiones lecheras
- La crisis del ovino de carne con largos periodos de bajo precio del cordero y la limitación de las superficies de pastoreo

Respecto a la distribución geográfica de la producción española, tal y como podemos apreciar en la figura 7, ésta está muy centralizada en ciertas regiones; así, el 90% de la leche de oveja se produce en Castilla y León y Castilla-La Mancha, y el otro 10% restante entre País Vasco, Navarra, Madrid, Extremadura y Andalucía (MAGRAMA, 2013b).

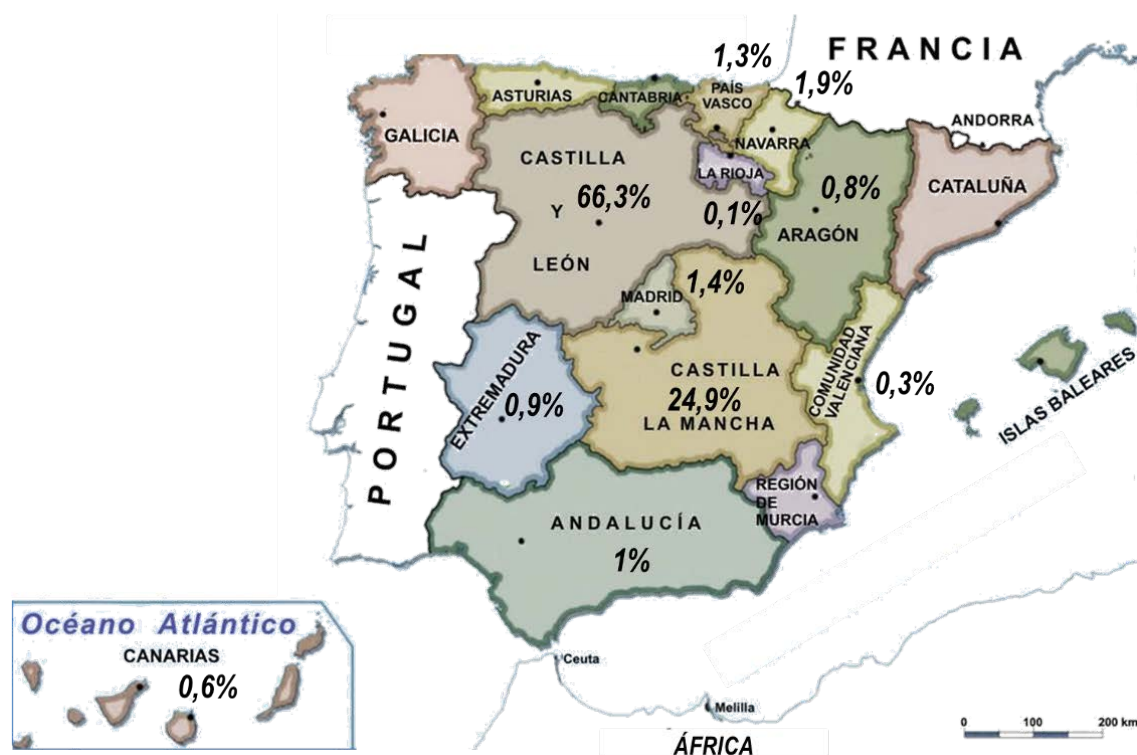


Figura 7. Distribución porcentual de la producción de leche de oveja en las distintas CC.AA. de España en el año 2013 (MAGRAMA, 2013b)

La base de esta creciente producción es la elaboración de quesos de calidad. Ya en el año 1999, de los 300 millones de litros de leche de oveja que se producían, el 95% se entregaba a la industria láctea para la elaboración de quesos puros de oveja o mezcla y el 5% era utilizado por los productores para la elaboración de quesos artesanales, pudiéndose considerar como despreciable la leche de oveja destinada a consumo directo (en 1995 se estimó en el 0,01%; Daza-Andrada, 2002). En la actualidad, la situación no ha variado y de los 578,6 millones de litros producidos en 2013, el 94,4% se entregó a la industria para su procesado (546,2 millones de litros) (MAGRAMA, 2013a).

Dentro de las explotaciones de ovino lechero que entregan su producción a la industria contamos con dos grupos muy diferenciados:

- Por un lado, explotaciones con un sistema de producción tradicional que utilizan en su mayoría razas autóctonas explotadas en sistemas semi-intensivos para la producción de corderos y de quesos muy apreciados en el mercado nacional e internacional (Caja y de Rancourt, 2002). Estos productos tradicionales son, en la mayoría de los casos, vendidos bajo etiquetas de D.O.P. en el caso de los quesos o de indicación geográfica protegida en los corderos.

En España contamos con seis quesos de oveja con D.O.P.: Zamorano, Manchego, Roncal, Idiazabal, La Serena y Torta del Casar (Sánchez-Rodríguez, 2011). Las explotaciones que producen para este tipo de producción obtienen un mejor precio por su leche, lo que permite un mayor retorno a los productores. Sin embargo, como contrapartida, las normas de producción de las D.O.P. exigen a las explotaciones mantener condiciones de producción semi-intensivas y/o el uso de razas autóctonas.

A pesar de que las últimas cifras de producción de quesos D.O.P. y su consumo señalan una notable evolución positiva, estas denominaciones y su volumen de producción engloban una pequeña parte del sector ovino lechero. De hecho, únicamente el 28% de las ovejas están incluidas en D.O.P. y de éstas sólo el 1% de su leche se emplea para la producción de productos D.O.P. (Caja y de Rancourt, 2002). El resto de la leche se utiliza en la elaboración de otros tipos de quesos de mezcla (vaca-oveja o vaca-oveja-cabra) muy apreciados por los consumidores españoles (Caja y de Rancourt, 2002).

- Por otro lado, la demanda creciente de productos lácteos de oveja y el incremento de los costes de producción han llevado al sector ovino lechero a repetidas crisis de crecimiento que han originado diferentes reestructuraciones, al objeto de rebajar los costes de producción, en una evolución de intensificación similar a la ocurrida tiempo atrás en el vacuno lechero (Milan et al., 2011). Esto ha acontecido especialmente en las explotaciones que no forman parte de las D.O.P. y que no cuentan, por tanto, con un valor añadido de la leche producida ni con las normas asociadas a las mismas (razas, sistemas productivos, etc.).

Otro factor que ha favorecido la intensificación de las explotaciones es la marcada estacionalidad de la producción semi-extensiva con máximas producciones en primavera (abril-junio) y mínimas en otoño e invierno, fenómeno no deseado por la industria a la que le interesa una producción más uniforme que permita un mejor aprovechamiento y rendimiento de sus instalaciones. Esto motiva que los precios de la leche descendan entre un 10 y un 20% en primavera y mejoren en las épocas desfavorables de producción (Caja y de Rancourt, 2002; Caja y Such, 1991; Daza-Andrada, 2002). En este contexto la intensificación supone una forma de incrementar la producción en los periodos de precios de la leche más altos y con ello, la sostenibilidad económica a largo plazo de las explotaciones.

Respecto a las razas empleadas en estas explotaciones intensivas, dado que nuestras razas autóctonas, a pesar de estar bien adaptadas a las condiciones ambientales presentan una producción lechera reducida, se han introducido razas foráneas de alta producción, siendo las razas awassi, assaf y lacaune las más populares (Caja y de Rancourt, 2002; Milan et al., 2011).

Este cambio hacia un sistema de producción intensivo requiere una serie de cambios por parte del sector, que detallamos a continuación (Sánchez-Rodríguez, 2011):

- Aumento del tamaño de las explotaciones y reducción del ratio personal:ganado
- Incremento y mejora de la alimentación suplementada, limitando el pastoreo
- Necesidad de introducir una gestión técnico-económica adecuada
- Mejora del control de la reproducción
- Incremento del periodo de ordeño y de la producción lechera, así como implantación generalizada del ordeño mecánico
- Acortamiento de los periodos de cría del cordero o la introducción de la lactancia artificial

Un ejemplo claro de esta reestructuración se encuentra en la comunidad de Castilla y León donde se encuentra el 65% del censo de ovejas lecheras de España y sólo una D.O.P.: la del “Queso Zamorano”, realmente, poco difundida (Sánchez-Rodríguez, 2011).

En la actualidad, Castilla y León cuenta con un censo de 1.800.000 ovejas de ordeño, repartidas en 10.255 explotaciones que producen más de 310 millones de litros de leche (124 millones en 2001) y más del 90% de las ganaderías cuentan con ordeño mecánico (INE, 2010). Los rebaños tienen un tamaño medio de unas 400 ovejas, con una productividad media de 218 litros/oveja/año (138 litros en 1993). La base racial ha evolucionado también paralelamente a los sistemas. Hoy por hoy, existen unas 500.000 reproductoras de razas autóctonas (fundamentalmente churra, pero también castellana). Sin embargo, la mayor parte del censo, 750.000 reproductoras, pertenecen a las razas assaf, awassi y sus cruces (Sánchez-Rodríguez, 2011).

Respecto a las perspectivas del ovino lechero en España, Sánchez Rodríguez (2011) expone como el ovino lechero no tiene Política Agraria Comunitaria (P.A.C.) propia específica, estando acogido a la Organización Común de Mercados (O.C.M.) del ovino y caprino en general, sin una regulación de la producción y del mercado de leche, por lo que depende exclusivamente de la ley de la oferta y la demanda. Es decir, el subsector depende en gran medida de su propia dinámica de desarrollo y de la demanda generada de quesos de calidad. Según (Sánchez Rodríguez, 2011) sería, por tanto, muy importante progresar en distintos ámbitos:

- Aumento del tamaño de las explotaciones y modernización de las mismas
- Mejora de la sanidad de los rebaños (brucelosis, tuberculosis, scrapie, maedi-visna, paratuberculosis, agalaxia contagiosa, mastitis...)
- Mejora y optimización de los sistemas de alimentación
- Desarrollo de programas de mejora genética que aumenten la competitividad de las explotaciones
- Mejora y optimización del manejo reproductivo para desestacionalizar la producción
- Influir en el mercado promocionando la demanda de los quesos de calidad
- Creación de un Interprofesional de Ovino Lechero que agrupe a los ganaderos, sector industrial y distribución para trabajar conjuntamente por los intereses del sector (en la actualidad se encuentra incluido dentro de la Organización Interprofesional Láctea, INLAC)

1.2. RAZAS OVINAS DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN LÁCTEA

1.2.1. Principales razas de ovino lechero en España

Las ovejas que se ordeñan pertenecen al mismo género y especie (*Ovis aries*) que aquellas destinadas a la producción de carne y lana (Sánchez Rodríguez, 2011).

Existe una gran diversidad de razas ovinas productoras de leche, en contraposición a lo que ocurre con la especie bovina. Esto se debe en parte a la variedad de los sistemas productivos y a la fuerte dependencia del medio donde se explotan (Buxadé, 1996). Sin embargo, unas pocas razas se han seleccionado a lo largo del tiempo, logrando producciones excepcionales, como la raza milchschaf (también llamada east friesland) de Alemania, la lacaune de Francia, la sarda de Italia, la chios de Grecia, la british milksheep de Gran Bretaña, la manchega, latxa y churra en España o las razas awassi y assaf de Israel. Estas razas producen de 182 a 600 kg de leche por lactación.

Tabla 7. Clasificación de los principales grupos raciales ovinos lecheros en relación con su origen, tamaño y nivel productivo (Buxadé, 1996)

| Grupo racial y origen geográfico | Potencial productivo (litros) | | |
|--|-------------------------------|--|---|
| | Alto (>200) | Medio (60-200) | Bajo (<60) |
| De cola grasa y lana basta. Asia | Assaf y awassi (G). | Chipriota (M) | Arabi (M), karaman (P) |
| Lana basta. Europa central | | Karagouniko, pramenca, pleven, stara zagora (M) | Karakachan, kivercik, ruda (M) y zackel, tsigai (P) |
| Lana basta. Mediterráneo occidental | Sarda, chios (M). | Comisana, churra, carranzana, latxa, manech (M) y corsa, kymi, leccese, skopelos (P) | Bordaleiro, mytileni, silicosarda (M) |
| Lana fina y entrefina. Mediterráneo occidental | Lacaune y milchschaf (G). | Castellana, manchega (M). Serra da Estrela, massese, saloia (P) | Merina, talaverana (M). Sopravissana (P) |

Las letras indican el tamaño medio de las hembras (G) grande >60kg, (M) medio 45-60kg y (P) pequeño <45kg

En España, la producción de ovino lechero se basó inicialmente en razas autóctonas muy bien adaptadas a sus respectivas zonas de origen. Éste es el caso de la raza manchega en Castilla-La Mancha, las razas churra y castellana en Castilla y León o las razas latxa y carranzana en el País Vasco y Navarra, respectivamente (Ugarte et al., 2002). No obstante, la indiscutible superioridad productiva de las razas foráneas como la lacaune, assaf o awasi ha llevado a sustituir en muchas explotaciones los sistemas de producción tradicionales con razas autóctonas por sistemas de producción intensivos con razas foráneas

y sus cruces con nuestras razas autóctonas (Ugarte et al., 2002). Se calcula que actualmente en España el 45% del ovino de leche está representado por razas foráneas y sus cruces (Ugarte et al., 2001).

Razas autóctonas

CASTELLANA

Lo más característico de esta raza es que es de ciclo ovárico continuo, por lo que puede quedar gestante en cualquier época del año. Sólo se ordeña una parte de los rebaños de raza castellana, mientras que el resto se dedica en exclusiva a la producción de carne. El área de distribución es principalmente la Comunidad Autónoma de Castilla y León. La leche obtenida se destina a la fabricación de quesos, como el queso de Denominación de Origen “Zamorano” y el tipo Castellano, ambos de elevada calidad. Este tipo de explotaciones siempre comercializan, además, el lechazo (Acero Adámez, 2009; Cambero Muñoz, 1999; FEAGAS, 2011).

CHURRA

La raza churra es una raza de doble aptitud con dos tipos de objetivos comerciales “producción lechera y cordero lechal o lechazo” o solamente “cordero lechal” (Buxadé, 1996). Desde el punto de vista productivo, cabe destacar que se trata de una raza muy especializada en la producción de leche y de gran facilidad para el ordeño. Sin embargo, sólo una parte de los rebaños de esta raza se ordeña, mientras que otros se dedican en exclusiva a la producción de corderos. En la actualidad, el periodo de lactación tiende a reducirse a 120 días por la intensificación reproductiva, con una producción media de las ovejas sometidas a control lechero oficial de 120 kg en 120 días de lactación (grasa: 6,8%, proteína: 5,6%, extracto seco: 13,5%). Sin embargo, se han registrado producciones individuales de hasta 370 kg de leche en 180 días de lactación (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). La hembra de raza churra tiene una gran precocidad sexual, pudiendo presentar a los diez meses de edad su primer parto, aunque en general ocurre a los 14-16 meses (FEAGAS, 2011). El área de distribución es casi exclusivamente la Comunidad Autónoma de Castilla y León. La leche se destina en su totalidad a la fabricación de queso, ya sean quesos de tipo local (Villalón, Burgos), bien de quesos bajo la Denominación de Origen de Queso Zamorano, bien de quesos conocidos bajo el nombre de “Castellano”, de alta calidad y similares al Zamorano (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). En 1971 se implantó el Libro Genealógico para la raza churra, libro llevado por la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Selecto de Raza Churra (ANCHE) (Cambero Muñoz, 1999).

MANCHEGA

La raza manchega se ha catalogado tradicionalmente como de doble aptitud (leche-carne), aunque en los últimos años se tiende a la especialización hacia una única producción. Destaca por su gran longevidad, alta precocidad y prolificidad, además de por su facilidad al parto y gran instinto maternal. Se adapta perfectamente a climas secos y calurosos, con un marcado instinto gregario y gran rusticidad, aprovechando los rastrojos, pastos, subproductos agrícolas y recursos naturales del campo. La mayor parte del censo se encuentra distribuido en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, aunque también presenta censos importantes en la Comunidad de Madrid y la provincia de Valencia (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). La cantidad de leche producida por oveja y año se ha incrementado considerablemente en estos últimos diez años (mejora genética, manejo, alimentación, etc.) alcanzando niveles de hasta los 250 litros/oveja/año. La calidad físico-química de la leche es elevada (es muy rica en grasa y proteína), obteniéndose un rendimiento quesero muy alto (4-4,5 litros /kg de queso fresco). Además, el queso manchego está amparado por la Denominación de Origen desde 1985; (FEAGAS, 2011).

LATXA

La oveja latxa tiene una elevada rusticidad y una perfecta adaptación a los climas húmedos de la zona donde se explota (principalmente el País Vasco y Navarra). El régimen de explotación de estos rebaños es semi-extensivo; las ovejas salen a pastar prácticamente todos los días del año siendo frecuente la trashumancia corta o de verano (valle-montaña) (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). Así, el rebaño permanece en zonas bajas mientras se encuentra en producción para luego subir a los pastos de montaña en los meses cálidos del año. Ejerce una función ecológica muy importante aprovechando recursos forrajeros que de otra manera se perderían y, además, realiza limpieza en los montes (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). Tiene carácter lechero indiscutible. Se ordeña durante cinco o seis meses desde que se vende el cordero (generalmente como cordero lechal de 10-12 kg). La mayor parte de la leche obtenida se destina, junto con la leche de ovejas de raza carranzana, a la fabricación del queso D.O.P. Idiazabal en el País Vasco y Navarra y también queso D.O.P. Roncal en Navarra. Es muy destacable la elaboración artesanal de quesos y la venta directa de los mismos para lo cual las explotaciones disponen de queserías modernas (Acero Adámez, 2009; FEAGAS, 2011). Los rebaños se cubren entre mayo y diciembre para la obtención de un parto por oveja y año (FEAGAS, 2011).

MERINA

Aunque la producción de leche es baja (0,35 litros diarios durante 40-60 días) resulta muy apropiada para la fabricación de quesos artesanales de alta calidad con D.O.P. como la Torta del Casar, el Queso de la Serena y los Pedroches. Además, en nuestro país, cada vez tiene mayor reconocimiento la carne con Denominación Específica como el Cordero de Extremadura, CORDEREX, con carne de gran calidad

procedente de oveja merina, cuyo cordero de 20-25 kilos de peso vivo tiene 65-90 días de edad (Cambero Muñoz, 1999).

Tabla 8. Resumen de las características productivas de las principales razas ovinas lecheras utilizadas en España (Acero Adámez, 2009; Cambero Muñoz, 1999; FEAGAS, 2011; MAGRAMA, 2015; MARM, 2010)

| Origen | Razas | Prolificidad | Edad primer parto (m) | Grasa | Proteína | Producción media lactación (l/días) |
|------------------|------------|--------------|-----------------------|-------|----------|-------------------------------------|
| Autóctona | Castellana | 130-140 | 12,5 | 6,2 | 5,4 | 118l en 120d |
| | Churra | 140-150 | 15 | 6,8 | 5,6 | 131l en 120d |
| | Manchega | 140-150 | 17,6 | 7,5 | 5,7 | 165,9 l en 147d |
| | Latxa | 110-135 | >12 | 6,8 | 5,5 | 116l en 120d |
| | Merina | 130-140 | 17 | 7,8 | 5,6 | 26,3-42,3l/ año |
| Foránea | Assaf | 160 | 15 | 6,2 | 5,3 | 330l en 150d |
| | Lacaune | 165 | 13-14 | 7,0 | 5,6 | 350l en 150d |

Razas foráneas

AWASSI

Es una raza ovina de doble propósito (carne y leche) de alta rusticidad y baja prolificidad, perteneciente a las ovejas de cola grasa, originaria de Asia y explotada en Oriente Próximo bajo condiciones extensivas a semi-extensivas, donde, tanto la disposición de alimento como el clima actúan como factores limitantes de la producción. Los programas de selección de la raza llevados a cabo en Israel, han dado lugar a la raza awassi mejorada, especializada en la producción lechera. La raza mejorada en Israel y bajo condiciones intensivas es una excelente productora de 400-500 litros en 150 días (2,5 a 4,5 litros por oveja y día); y en rebaños selectos puede alcanzar entre 600 y 800 litros (Cambero Muñoz, 1999; Gootwine, 2011). Se han llevado a cabo numerosos cruces con otras razas a fin de mejorar la rusticidad, la prolificidad (110-125%), la producción láctea y la adaptación al ordeño mecánico. El mejor resultado se obtuvo al cruzar awassi con milchschaf, dando lugar a la raza assaf (Acero Adámez, 2009; Gootwine, 2011).

En España, la raza awassi mejorada se introdujo procedente de Israel en 1971 (Epstein, 1985) y se han realizado cruces con distintas razas autóctonas dado que en pureza, se adapta mal a las explotaciones de nuestro entorno. Así, en el cruzamiento de macho awassi con castellana, churra o manchega, se obtiene un híbrido F1, cuya producción supera los 400 litros de media, llegando algunos ejemplares a 1.000 litros, siendo este híbrido una oveja fuerte, rústica, de gran dureza y con temperamento tranquilo para el ordeño (Cambero Muñoz, 1999).

ASSAF

La raza assaf obtenida en Israel por cruzamiento de awassi con milchschaf (originaria de Alemania), contiene en su patrimonio genético 5/8 de awassi y 3/8 de milchschaf. Las razones que motivaron este cruce fueron: la elevación del porcentaje de mellizos, el aumento de la precocidad y fecundidad de las corderas y el cambio de la cola gruesa por otra más delgada. Así, esta raza tiene mayor índice de prolificidad, gran capacidad lechera (con producciones de 350 kilos al primer parto llegando a 800 kilos en lactaciones sucesivas), buena adaptación a los sistemas de producción intensivos y adaptación aceptable al ordeño mecánico y estacionalidad moderada (Acero Adámez, 2009; Gootwine, 2011; Sánchez Belda y Sánchez Trujillano, 1979).

En España, la raza assaf se introdujo en 1977 (Ugarte et al., 2001). A partir de ellas y mediante el cruce con razas locales, principalmente castellana y manchega, y en menor medida churra, se produjo la raza assaf española (Milan et al., 2011). Actualmente, los diversos cruces suponen en España unas 900.000 ovejas, de los cuales aproximadamente el 90% son cruces con assaf dada su mayor producción lechera bajo condiciones intensivas (Milan et al., 2011). La raza assaf española presenta una elevada producción lechera, con lactaciones medias prolongadas que alcanzan los 210 días y más, con aceptable adaptación al ordeño mecánico. La producción media normalizada en controles oficiales a 150 días de lactación es de 330 litros (2,2 litros/día) y una composición media de la leche de 6,2% de grasa, 5,3% proteína y 16,8% de extracto seco. Su aptitud cárnica se considera en base a la producción de corderos lechales (FEAGAS, 2011). Además, las hembras presentan una buena precocidad sexual, produciéndose generalmente el primer parto a los 14-16 meses de edad. Alcanzan una buena fertilidad con una prolificidad media de 1,6 crías/parto. Se explota fundamentalmente en sistemas de producción bastante intensivos, y aunque aún muchas explotaciones realizan un parto al año, es cada vez más frecuente encontrar explotaciones con tres partos en dos años (FEAGAS, 2011).

LACAUNE

Es una raza de origen francés. La presencia de la raza lacaune en nuestro país data de finales de los años 80 del pasado siglo, y su introducción se debió a la necesidad general de incrementar la producción por animal en las explotaciones de ovino lechero (FEAGAS, 2011).

Esta oveja se forma por la fusión de diferentes tipos o razas locales y toma su nombre de los montes Lacaune. El morfotipo es parecido al de nuestra manchega aunque con las patas más cortas y perfil cefálico menos convexo. La principal utilidad es como productora de leche, con la que se fabrica el famoso queso Roquefort (Sánchez Belda y Sánchez Trujillano, 1979). Se trata de una raza de mayor rusticidad que la assaf, bastante precoz (primera cubrición a los 9-11 meses), con producciones de 200-250 kg en 200 días y con muy buena adaptación al ordeño mecánico (Acero Adámez, 2009); por lo que en los últimos años, esta raza ha ganado protagonismo en diversas regiones de España. Dado que se

trata de la raza objeto de nuestro estudio desarrollaremos más ampliamente sus características en el siguiente punto 1.2.2.

1.2.2. La raza lacaune

Origen y distribución mundial

La raza lacaune destaca por su rusticidad y su alta producción lechera (FEAGAS, 2011). En los años 60 la situación de las queserías francesas era preocupante debido a que a pesar del incremento de la demanda del mercado la producción estaba estancada alrededor de 57 millones de litros de leche (Barillet et al., 2001). Dado que uno de los principales motivos se hallaba en la escasa producción láctea de la raza, la asociación de productores, junto a las queserías y el Instituto Francés de Investigación Agraria (INRA) trabajaron en conjunto para incrementar la producción y eficiencia de ordeño de la raza (Barillet et al., 2001). Así, la raza lacaune está sometida desde hace más de treinta años a un riguroso esquema de selección sobre una amplia base de animales (cerca de un millón de ovejas en control lechero oficial), y en base a la inseminación artificial con machos jóvenes en prueba y moruecos mejorantes. Esto ha dado como resultado animales con un excelente nivel productivo para sus sistemas de producción y con una morfología mamaria perfectamente adaptada al ordeño mecánico (Barillet et al., 2001). De hecho, la media de producción se incrementó de 80 litros en 135 días en los años 60 a 270 litros en 165 días en 1999, en el núcleo de selección de la raza. Sin embargo, debemos tener en cuenta que esta producción se refiere sólo al periodo de ordeño de la oveja sin estimar la leche producida durante el amamantamiento de los corderos, ya que estos datos son de la raza explotada siguiendo las recomendaciones de ICAR para razas bajo sistema de producción tradicional (ICAR, 1992). Así pues, la lactación completa podría estimarse entorno a los 350 litros (Barillet et al., 2001). Además, un 80% de animales cuenta con dos picos de eyección de leche en el ordeño, hecho que permite obtener el 80% de la leche como leche de máquina, sin manipulación alguna de su ubre, lo que queda de manifiesto por su excelente adaptación y facilidad de ordeño (FEAGAS, 2011).

En Francia, la denominada Cuenca del Roquefort contaba en 1999 con 800.000 ovejas de raza lacaune en 2.517 ganaderías que producían 178,3 millones de litros de leche anuales (Barillet et al., 2001), lo que representaba el 76% de la producción total de leche de oveja en Francia (234 millones de litros) (Barillet et al., 2001). En el año 2005 la asociación UPRA lacaune estimó un efectivo de 840.000 ovejas de raza lacaune (157.886 inscritas en el libro genealógico de la raza y 661.359 sometidas a control lechero oficial), en unas 2.300 explotaciones (400 inscritas en el libro genealógico y 1.900 en control lechero) con un tamaño medio de 348 animales, y una producción media de 283 l estandarizada a 160 días (UPRALacaune, 2005).

Toda esta leche se destina a la fabricación del queso D.O.P. Roquefort, cuyo Consejo Regulador controla de forma rigurosa todo el proceso de producción (AGRP0001838D, 2001). Esta D.O.P. es emblemática a nivel mundial en el sector de los quesos de calidad (Barillet et al., 2001).

La reglamentación de la D.O.P. Roquefort (AGRP0001838D, 2001) sólo permite la leche procedente de ovejas de la raza lacaune manejadas de “forma tradicional”. Este concepto implica que la alimentación debe ser a base de hierba, forraje y cereales procedentes, al menos en tres cuartas partes, de la región geográfica protegida. La estabulación permanente o “hors sol” está prohibida, siendo obligatorio el pastoreo diario en el periodo en que haya disponibilidad de hierba y las condiciones climáticas lo permitan. El manejo reproductivo es desestacionalizado con un parto/oveja y año, partos distribuidos entre octubre y enero en ovejas adultas, tras los cuales, los corderos deben ser amamantados por su madre durante 30 días (no se puede entregar leche para fabricación de queso antes del día 20 después del parto). Tras el destete, las ovejas se ordeñan hasta julio o agosto, momento en que las fábricas paralizan la producción (Barillet et al., 2001).

Además, la raza lacaune es de doble propósito y posee una reconocida calidad en producción cárnica. Los corderos no se sacrifican generalmente como lechales sino que se ceban hasta 100-120 días (Barillet et al., 2001), dado su alto índice de transformación en cebadero y la excelente calidad de la canal (FEAGAS, 2011). De hecho, en los años 60-70, cuando la raza era poco productora de leche, los ingresos de las explotaciones eran casi iguales por la leche que por la carne. Sin embargo, en la actualidad, la leche supone tres veces más ingresos que la carne, lo que pone de manifiesto que ahora la raza es de alta producción láctea (Barillet et al., 2001).

Desde 1992, 17 países han importado de Francia genética de la raza lacaune a través de la asociación oficial de criadores de ovino de esta raza. Sin embargo, la información procedente de los distintos países, referente al resultado de las mismas es escasa (Barillet et al., 2001). Regli (1999) describió la producción de la raza en Suiza y Canadá bajo distintas condiciones de manejo. Por otro lado, en España (Such et al., 1998) evaluaron la raza en estudios experimentales sobre la capacidad de ordeño en que compararon la raza lacaune con la manchega. También existen datos publicados por nuestro grupo y por otros grupos de productores, sobre la optimización de parámetros productivos en la raza lacaune, en que evaluamos la edad al primer parto (EPP) y la duración del periodo seco óptimo. Los estudios fueron llevados a cabo en la misma explotación intensiva de Castilla y León que nos ocupa en el presente estudio (Hernandez et al., 2012; Hernandez et al., 2011); y por la cooperativa COVAP (Córdoba) (Gil et al., 2003; Infocarne, 2011). Además, recientemente, la Asociación Española de lacaune (AESLA) ha divulgado los resultados obtenidos en 59 explotaciones de distintas Comunidades Autónomas (CC.AA.) sometidas a control lechero oficial entre octubre de 2009 y 2010 (Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011), entre las que se incluye nuestra explotación objeto de estudio, como se puede ver en detalle en la tabla 9.

Tabla 9. Características productivas de la raza lacaune bajo las condiciones productivas de distintos países

| País | Producción (litros) | Días en lactación | Días en ordeño |
|--|----------------------|-------------------|----------------|
| Francia | | | |
| UPRA Lacaune ^a (Barillet et al., 2001) | 218-271 ^a | 175-204 | 145-174 |
| UPRA Lacaune ^a (UPRALacaune, 2005) | 283 | 160 | 160 |
| Suiza | | | |
| Asociación de Productores de ovino Suiza (Regli, 1999) | 350-412 | 250-260 | 250-260 |
| Canadá^a (Regli, 1999) | 330-392 | 262-283 | 220-241 |
| España | | | |
| AESLA (Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011) | 283-359 | 160 | 160 |
| COVAP (Infocarne, 2011) | 350-378 | 150-180 | 150-180 |
| (Hernandez et al., 2011) | 448 | 238 | 238 |

^a Leche ordeñada sin incluir amamantamiento del cordero

Dado que las explotaciones que se encuentran fuera de la D.O.P. Roquefort no cuentan con el posible mayor de la leche pero tampoco sufren las limitaciones normativas asociadas a esta denominación, es frecuente el uso de sistemas de producción intensivos para la explotación de esta raza, tal y como se ha recomendado previamente (Barillet et al., 2001), con el objeto de alcanzar un mayor potencial productivo de estos animales y la mayor rentabilidad económica de la explotación.

La raza lacaune en España

La raza lacaune presenta una buena adaptabilidad a la climatología y sistemas productivos españoles (FEAGAS, 2011). Actualmente existen importantes núcleos productivos en Andalucía, Castilla-La Mancha, Navarra, Castilla y León y Extremadura. Mientras que en algunas zonas geográficas ligadas tradicionalmente a la producción de ovino lechero, como Castilla-La Mancha y Extremadura, existe una convivencia de la lacaune con razas autóctonas ligadas a determinadas marcas de calidad y mantenidas en explotación extensiva o semi-extensiva, en otras comarcas con menor tradición en ovino lechero, como en el caso concreto del Valle de los Pedroches (Córdoba), se ha introducido este tipo de ganadería con sistemas de explotación intensivos similares a los de vacuno lechero (FEAGAS, 2011).

En Extremadura, la ampliación del mercado y mayor industrialización en la fabricación de los quesos con D.O.P. Torta del Casar ha llevado a propiciar la aparición de sistemas de producción intensificados,

capaces de suministrar más leche y de forma continua a lo largo del año. Así, ha surgido un número considerable de explotaciones intensivas de ovejas de raza lacaune con el objeto de satisfacer esta demanda de leche. Esta situación es posible ya que el reglamento de la D.O.P. determina que la leche procederá de ovejas de raza merina y del tronco “entrefino”, algo muy ambiguo que permite la inclusión de la leche procedente de la raza lacaune. De forma similar, numerosas explotaciones incluidas en la D.O.P. Queso de La Serena han optado por la raza lacaune. Sin embargo, existe en la actualidad una auténtica polémica entre los “puristas” y los que quisieran flexibilizar más el reglamento para poder utilizar la raza lacaune. Por el momento, muchos ganaderos que han optado por razas más productoras, fundamentalmente lacaune, se hallan fuera de la D.O.P. al igual que las queserías a las que suministran y fabrican por ello quesos de este tipo pero fuera de la denominación (Sánchez Rodríguez, 2011).

En Andalucía, en el valle de Los Pedroches, el ovino lechero surgió a finales de la década de los noventa como alternativa a las dificultades del sector del vacuno lechero. Esta iniciativa de algunos ganaderos fue tutelada e impulsada por la Cooperativa del Valle de los Pedroches (COVAP) que en la actualidad transforma toda esta leche bajo su propia marca. Las ganaderías de esta zona se basan en sistemas de producción intensiva o semiintensiva con razas lecheras, tanto assaf como lacaune. Las explotaciones cuentan con instalaciones modernas, y una gestión de la alimentación y de la reproducción avanzada, con la utilización generalizada de mezclas completas en alimentación (*unifeed*) y de tratamientos hormonales para la programación de parideras (Sánchez Rodríguez, 2011). Estas ganaderías obtienen producciones de leche superiores a los 350 litros/oveja y año, tanto para las razas lacaune como assaf, con una alta calidad bromatológica y sanitaria. Además, con estos sistemas se ha conseguido rebajar la estacionalidad de la producción lechera, muy alta en esta especie, a niveles realmente bajos, en la línea de las demandas de la industria quesera. Hoy existen en esta zona más de 50 ganaderías con cerca de 30.000 ovejas de leche que producen alrededor de 4 millones de litros de leche anuales (algo más del 1% de la producción nacional; (Gil et al., 2003). En otras zonas de España existen también algunas ganaderías grandes, dispersas y aisladas de ovino lechero de raza lacaune (Sánchez Rodríguez, 2011).

Constitución de la Asociación Española de Criadores de Raza lacaune (AESLA)

En el año 2007 la Asociación Española de Criadores de Raza lacaune (AESLA) fue oficialmente reconocida para la gestión del Libro Genealógico de la raza ovina lacaune en España. La asociación comenzó con el establecimiento del control lechero oficial para la raza lacaune llevado a cabo en siete Centros Autonómicos de Control Lechero; así como un programa de inseminación artificial con machos de gran calidad genética procedentes de Francia que se encuentran en depósito en tres centros de sementales distribuidos en las distintas regiones (Ovigen en Zamora, Censyra en Madrid y Ctro. de la diputación en Córdoba). En el año 2011, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), denominado Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) en aquel momento, aprobó el programa de mejora genética de la raza lacaune (Disposición 13976 del BOE núm

198 de 2011). El programa de selección pretende aprovechar la mejora que se consigue en el programa francés, reevaluando los recursos genéticos importados en nuestro país en nuestras propias condiciones de explotación, y evaluando genéticamente nuestra población ya establecida. De modo que su principal objetivo es evaluar y mejorar las ovejas de raza lacaune en nuestro país, procedentes, en su mayoría, de los núcleos originales franceses, con el fin de lograr la máxima rentabilidad de cada oveja a lo largo de su vida productiva. Para ello han establecido unos parámetros para mejorar el morfotipo lechero y lograr una mayor vida productiva, y por otro lado, dotarla de una mayor resistencia frente a las encefalopatías espongiformes transmisibles del ganado ovino. En el programa, coordinado por AESLA, participan 51 explotaciones colaboradoras ubicadas en distintas regiones de España, entre las que se encuentra la granja objeto de nuestro estudio, tres centros de reproducción–almacenamiento y testaje (OVIGEN en Zamora, CENSYRA en Madrid y Ctro. de Sementales de Córdoba), un banco de germoplasma (CENSYRA en Madrid), un equipo de recogida de embriones (OVIGEN) y un centro cualificado de genética (MOSEVAR; Dpto de Producción Animal, U.C.M.). De hecho, en el nuevo Catálogo de Sementales de AESLA se incluyen más de 400 machos valorados genéticamente (AESLA, 2014).

El libro genealógico de la raza lacaune cuenta en la actualidad con un total de 88.168 animales procedentes de 51 ganaderías activas en el libro, según los datos que refleja el sistema de información ARCA del MAGRAMA. De ese total de animales, 86.778 son hembras, mientras que 1.390 son machos (AESLA, 2014).

La distribución geográfica de la raza es la siguiente:

- Castilla-La Mancha. 33.951 animales. 20 ganaderías. Provincias: Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo
- Castilla y León. 21.899 animales. 10 ganaderías. Provincias: Ávila, Palencia, Segovia, Valladolid y Zamora
- Andalucía. 14.823 animales. 7 ganaderías. Provincias: Córdoba, Huelva, Jaén y Málaga
- Extremadura. 10.124 animales. 9 ganaderías. Provincias: Badajoz y Cáceres
- Comunidad Valenciana. 5.579 animales. 2 ganaderías. Provincias: Alicante y Valencia
- Comunidad de Madrid. 1.792 animales. 3 ganaderías

Producción lechera de la oveja lacaune en España

En cuanto a la producción lechera en nuestro país, contamos con algunos datos procedentes de sistemas de producción intensiva. En estudios previos llevados a cabo por nuestro grupo en la Granja Cerromonte de 3.500 ovejas, objeto del presente estudio (perteneciente a la Cooperativa Alta Moraña y ubicada en Castilla y León), evidenciamos una producción de 448 litros por lactación con una lactación media de 238 días (Hernandez et al., 2011). Por otro lado, en la cooperativa COVAP han descrito producciones medias de leche de 405 litros por lactación con lactaciones medias de 175 días de duración y producciones de 350 litros por lactación en lactaciones estandarizadas a 150 días (Gil et al., 2003). Además, AESLA ha

presentado recientemente los resultados obtenidos por las distintas explotaciones registradas en base a los datos de control lechero oficial de la raza entre 01-10-2009 y el 20-09-2010. En este estudio, en que se incluyen un total de 36.470 lactaciones completadas procedentes de 59 explotaciones (entre las que se incluye la granja Cerromonte, objeto del presente estudio), han calculado una media de 304 kg de leche por lactación estandarizada a 160 días de ordeño (Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011). Los resultados de las distintas comunidades autónomas se detallan en la tabla 10.

Tabla 10. Explotaciones españolas de lacaune incluidas en el programa de control lechero oficial: censo y resultados de las lactaciones completadas entre octubre de 2009 y 2010

| CC.AA. | Explotaciones | Hembras registradas | Lactaciones completadas | Prod Media lactación (litros)* |
|--------------------|---------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Andalucía | 9 | 3.598 | 2.354 | 327 |
| Baleares | 1 | 461 | 405 | 312 |
| Castilla-La Mancha | 26 | 29.295 | 22.155 | 283 |
| Castilla y León | 11 | 13.852 | 6.482 | 308 |
| Extremadura | 8 | 3.824 | 2.375 | 323 |
| Madrid | 2 | 356 | 352 | 254 |
| Valencia | 2 | 2.583 | 2.347 | 359 |
| TOTAL | 59 | 53.969 | 36.470 | 304 |

* Producción media de la lactación estandarizada a 160 días

Tal y cómo podemos observar en esta tabla, las producciones alcanzadas en gran parte de las CC.AA. son superiores a las registradas en los sistemas típicos de esta raza en su zona de origen, donde describen 275 litros comercializados después del destete en 165 días de lactación (Barillet et al., 2001). No obstante, existe mucha variabilidad entre animales, lo que determina una clara necesidad de establecer un adecuado programa de mejora para homogeneizar la genética y por ende su producción, siendo éste uno de los principales objetivos de AESLA (FEAGAS, 2011).

La calidad de la leche presenta datos medios del 7,04% de contenido graso y 5,56% de contenido proteico, parámetros muy adecuados para la producción de quesos de calidad. En cuanto a su comportamiento reproductivo, la edad a la primera cubrición se sitúa en torno a los 8-9 meses, con un peso medio de 45-50 kg y una prolificidad media observada de 165. El peso vivo medio del cordero al nacimiento es de 2,5-3 kg. La edad y peso al sacrificio bien puede ser como lechal, con algo menos de un mes de vida y 11 kg o bien para cordero de cebo precoz con 23-25 kg a los 75-85 días de edad (FEAGAS, 2011).

En España, la mayor parte de las explotaciones que crían esta raza en estabulación, están en manos de titulares jóvenes, disponen de una infraestructura adecuada y de un alto nivel de tecnificación. Se trata, por lo general, de explotaciones grandes con una media aproximada de 850 reproductoras por granja, que disponen de ordeño mecánico (100% de las granjas) y sometidas a manejo intensivo realizando mayoritariamente la lactancia artificial de los corderos (FEAGAS, 2011).

1.3. LA CURVA DE LACTACIÓN

La descripción y caracterización de la curva de lactación de cualquier animal de aptitud lechera nos permite conocer sus características productivas y estudiar los factores que la afectan, así como cuantificar dichos efectos. Además, el conocer la productividad del estándar de la raza nos permitirá comparar con otras razas y estimar la producción individual *a priori*. Esto último será de vital importancia para la toma de decisiones en la explotación.

1.3.1. Análisis descriptivo

La representación gráfica de la producción de leche en función del tiempo es denominada “curva de lactación”. La producción de leche diaria en la oveja tras el parto evoluciona a medida que avanza la lactación de forma muy similar a la de otras especies ganaderas. Una curva típica de lactación para cualquier especie ganadera sigue 1) una curva ascendente partiendo de la producción inicial posparto hasta alcanzar un máximo en las primeras semanas después del parto, 2) mantiene ese pico durante un tiempo para 3) posteriormente disminuir con una pendiente más o menos acusada hasta el final de la lactación (Buxadé, 1996; Grossman et al., 1999).

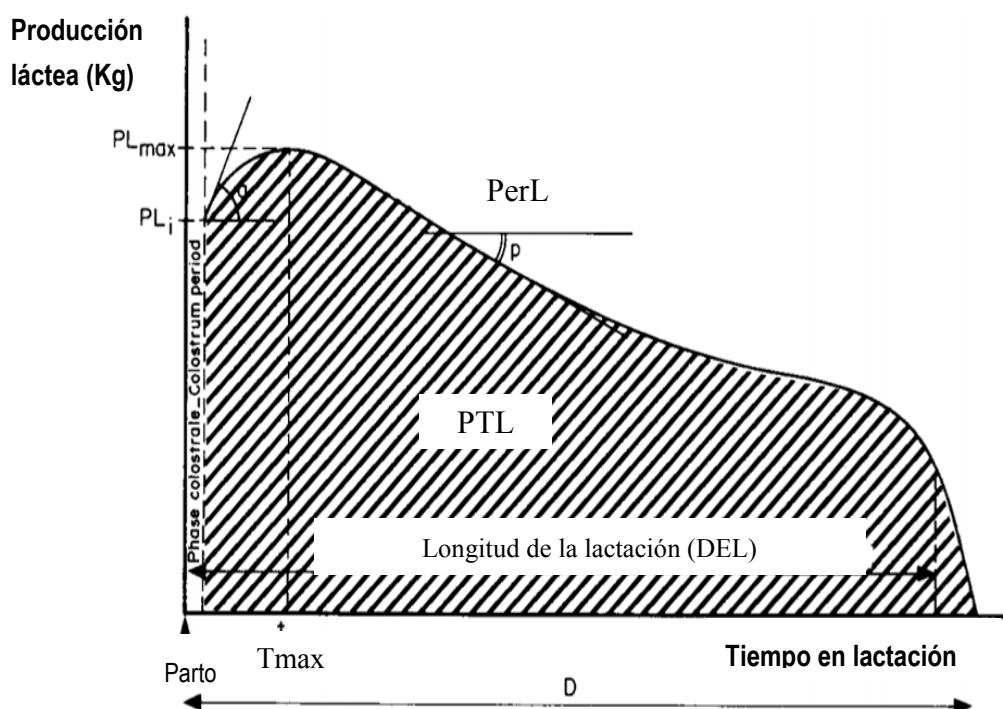


Figura 8. Representación esquemática de la curva de lactación de la vaca lechera (Masselin et al., 1987). PTL = producción total de la lactación; PL_i = producción láctea inicial; PL_{max} = pico de máxima producción láctea; Tmax = día/sem del PL_{max}; CrP = ritmo de crecimiento; PerL = persistencia de la producción 150 d en leche; DEL = días en leche; D = duración de la lactación

De manera que en la curva de la figura 8 podemos identificar ciertos parámetros que nos permiten caracterizarla (Masselin et al., 1987):

- La duración de la lactación (D), definida por el intervalo parto-secado
- La producción total de la lactación (PTL) o producción lechera diaria acumulada total. Se corresponde con la integral de la curva de lactación o área bajo la curva (superficie rallada)
- La producción láctea inicial (PLi) estimada a partir de las medias de producción de los primeros días posparto
- El pico de máxima producción láctea (PLmax) y el día en que se alcanza este pico (Tmax), que se obtienen respectivamente como la ordenada y abscisa en el punto donde la derivada de la curva $dPL(t)/dt$ se anula
- El ritmo de crecimiento o pendiente de la fase de producción creciente (CrP). Se determina mediante la tangente a la curva, lo que se correspondería con la derivada de la curva de lactación $dPL(t)/dt$ en el punto medio de la fase de producción creciente
- La persistencia de la producción (PerL). Se han propuesto distintas definiciones de persistencia (Grossman et al., 1999; Masselin et al., 1987; Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2000). En el presente estudio hemos optado por la utilizada por (Pollott y Gootwine, 2000), definida como la tasa de pérdida de producción láctea en litros/día a día 150 posparto, que corresponde a la derivada de la curva a los 150 días postparto

A diferencia de otras especies de ordeño, en el ganado ovino está muy difundida la lactancia natural del cordero durante al menos 30 días, por lo que en muchos casos observamos dos periodos: lactancia y ordeño, separados por el destete (Buxadé, 1996). Por ello, a menudo, el control lechero en ovino comienza después del destete (Barillet et al., 2001; ICAR, 1992), lo que impide el estudio de la curva de lactación real. Esto explica la falta de estudios sobre la lactación completa de la oveja. En algunos países se estima la "lactación completa" utilizando el resultado del primer control lechero para estimar la producción durante el periodo de amamantamiento (Barillet et al., 2001) (figura 9).

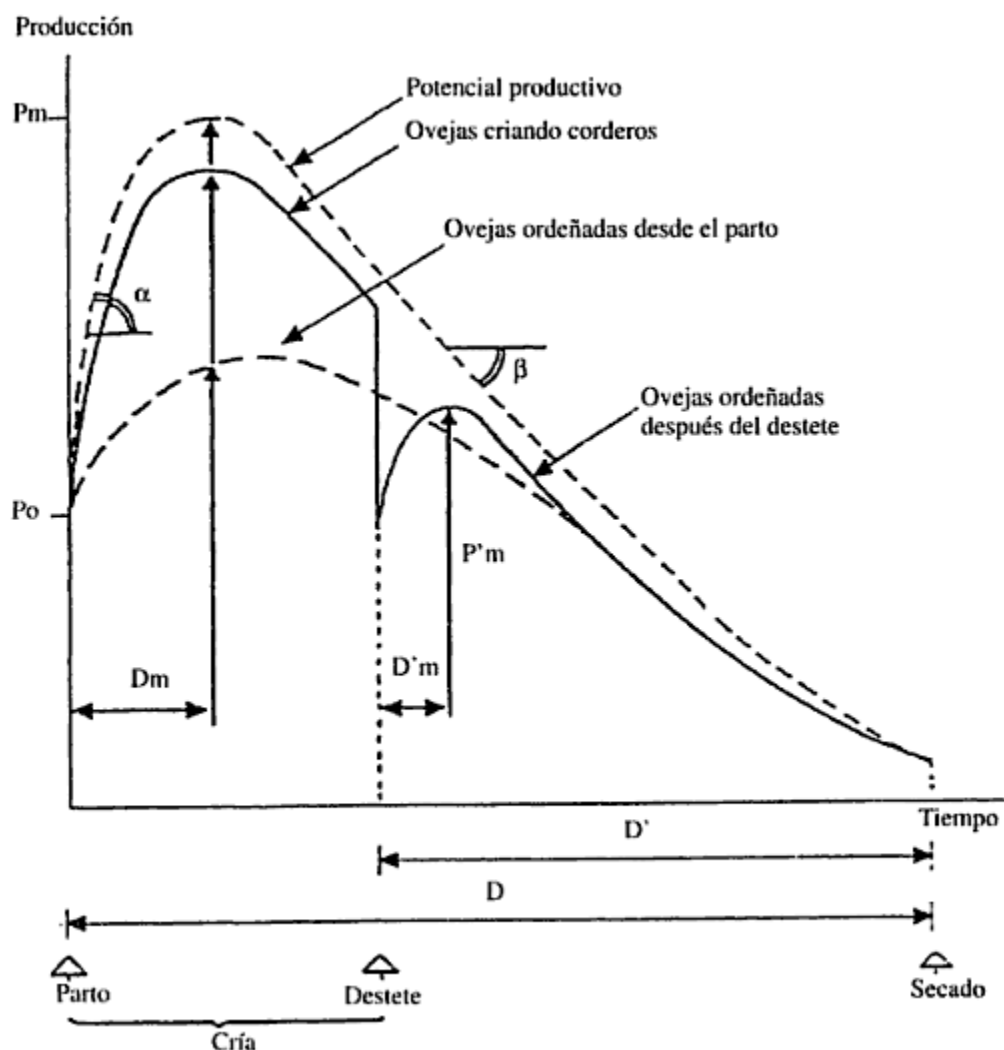


Figura 9. Curvas de lactación del ganado ovino. Fuente: Molina (1987) En (Buxadé, 1996)

En el ganado ovino, los estudios de la curva de lactación son escasos. Algunos estudios se han hecho bajo sistemas de manejo tradicionales incluyendo el periodo de amamantamiento del cordero (Carta et al., 1995; Macciotta et al., 1999; Oravcová et al., 2006; Ruiz et al., 2000). De los pocos que describen la lactación completa encontramos algunos efectuados bajo condiciones experimentales (Cappio-Borlino et al., 1997; Groenewald et al., 1995; Portolano et al., 1996). Finalmente, podemos encontrar estudios relativamente recientes, excepcionales y muy interesantes de la curva de lactación en las razas assaf y awassi en que sí se estudia la lactación completa de las ovejas pertenecientes a explotaciones comerciales manejadas bajo condiciones intensivas de campo, sin amamantamiento del cordero (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004), tal y como podemos ver en la tabla 11.

Tabla 11. Media y desviación estándar estimada de las principales características de la curva de lactación de las razas assaf¹ (Pollott y Gootwine, 2004) y awassi² (Gootwine y Pollott, 2000)

| Parámetro | Awassi | Assaf |
|---|-----------|-----------|
| PTL (l) | 506±161 | 334±133 |
| D (días) | 214±49 | 173±42 |
| IPP (días) | 330±90 | 272±66 |
| Tmax (días) | 45±20 | 24±12 |
| PLmax (l) | 3,44±0,99 | 2,61±0,87 |
| PerL a 150d ¹ y a 1/2 lactación ² (l/d) | 15,3 | 11,3 |

PTL= producción total de la lactación; D= duración de la lactación; IPP = intervalo parto-parto; PLmax = pico de máxima producción láctea; Tmax = día en que se alcanza le PLmax; PerL = persistencia de la producción.

1.3.2. Modelos matemáticos de ajuste a la curva de lactación

La curva de lactación es un proceso biológico que puede ser explicado por medio de una función matemática. El ajuste de esta curva mediante modelos matemáticos ha venido a solventar el problema ya tradicional de la falta de muestreos continuos, diarios e individuales de la producción láctea de los animales. En la mayoría de los casos, el control lechero individual se limita a la toma de muestras mensuales de modo que en total contamos con 4-8 datos /oveja/ lactación.

En España el control lechero oficial está regulado por el RD368/2005 que en base a una lactación normalizada de 120 días (4 meses) realiza la toma de muestras de leche individual con carácter mensual (cada 27-34 días) de las ovejas con más de cuatro días paridas y que no estén en periodo de amantamiento. Dado que por lo general se muestrea sólo durante los 4 meses que dura la lactación estandarizada en algunas razas con nivel productivo intermedio, en otras razas en que la longitud del periodo de lactación es de media superior (como la lacaune), la lactación estandarizada se incrementa ya que con frecuencia estos 4 meses no nos proporcionan información de la lactación completa sino sólo de este periodo inicial. Por ello, en numerosos trabajos en razas ovinas de alta producción como lacaune, assaf o awassi la duración de la lactación estandarizada es de 150-160 días. Sirva de ejemplo el caso de AESLA donde se estandariza la producción lechera de la oveja lacaune a nivel nacional en 160 días (Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011).

Por otro lado, incluso en explotaciones en las que la medición de la producción es llevada a cabo por la propia máquina de ordeño no se registran absolutamente todos los ordeños y animales. De manera, que

dicho ajuste matemático al permitir trazar las curvas de lactación a partir de los registros reales existentes se ha hecho imprescindible, tanto en muestreos esporádicos de control lechero, como en muestreos continuos de granja.

Mediante el ajuste matemático apropiado de la curva de lactación, una vez “rellenados” los huecos de valores, podemos estimar la producción total, lo que tiene una utilidad primera, muy importante, que es la de poder predecir producciones futuras a partir de muestras parciales, o de lactaciones ya en curso. Igualmente, se pueden identificar los animales con mayor potencial productivo en fases iniciales (Morant y Gnanasakthy, 1989). Esta valiosa información nos ayuda en la toma de decisiones para los programas reproductivos (Barillet y Boichard, 1994), y también en las estrategias de manejo a pie de granja (Sakul y Boylan, 1992). Por último, estos modelos son una vía alternativa a la hora de estudiar los factores que afectan a la producción lechera (Morant y Gnanasakthy, 1989) (ver punto 1.4.).

Sin embargo, para poder disponer de información útil y fiable, es fundamental encontrar la función matemática que mejor se ajuste a la curva de lactación de la especie (ej: vacas, ovejas, cabras, búfalas...), la raza (awassi, assaf, churra...), la edad o número de lactación, la zona climática, así como al sistema de producción y manejo. Por ejemplo, la misma raza holstein de vacuno lechero da lugar a un tipo de curva de lactación bajo el sistema de manejo de Nueva Zelanda, extensivo con alimentación en base a pasto, mientras que en Canadá se obtiene otro tipo de curva, bajo el sistema intensivo sin acceso a pasto (Bebbington et al., 2009; Tozer y Huffaker, 1999).

Para el ajuste de las lactaciones se ha recurrido a numerosos modelos tanto lineales como no lineales (Masselin et al., 1987). Estos modelos se han desarrollado principalmente para el ganado vacuno (Grossman y Koops, 1988; Morant y Gnanasakthy, 1989; Pollott, 2000; Wood, 1967), pero muchos de ellos se han aplicado con posterioridad a las principales razas ovinas lecheras: awassi (Pollott y Gootwine, 2000), assaf, latxa (Ruiz et al., 2000), lacaune (Oravcová et al., 2006), sarda (Cappio-Borlino et al., 1997; Carta et al., 1995), merina (Groenewald et al., 1995) o comisana (Portolano et al., 1996).

1.3.2.1. Modelos matemáticos descritos en la bibliografía

Se han descrito numerosos modelos matemáticos de ajuste de la curva de lactación, tanto de carácter empírico como de tipo biológico, principalmente para el vacuno lechero. Masselin et al. (1987) hicieron una amplia revisión de los distintos modelos descritos en vacas de leche. Los distintos modelos descritos hasta la fecha para curvas de lactación los podemos agrupar en dos tipos: empíricos y biológicos.

| | | FORMA | PARÁMETROS | ESTUDIOS PREVIOS |
|-------------------|---|---|------------|--|
| MODELOS DESCRITOS | Modelos empíricos | <div><div></div><div>i. Linear</div><div>ii. Logarítmico</div><div>iii. Equilibrado</div></div> | 3 | <div><div>i. Vacuno</div><div>ii. Ovino</div></div> |
| | | <div><div></div><div>i. Linear</div><div>ii. Equilibrado</div></div> | 4 | <div><div>i. Vacuno</div><div>ii. Ovino</div></div> |
| | | | | <div><div>i. Vacuno</div></div> |
| | | | | <div><div>i. Vacuno</div></div> |
| | Modelos biológicos | <div><div></div><div>i. Logística</div></div> | 6 | <div><div>i. Vacuno</div><div>ii. Ovino</div><div>iii. Caprino</div></div> |
| | | <div><div></div><div>i. Básico</div><div>ii. Reducido</div></div> | 2-5 | <div><div>i. Vacuno</div><div>ii. Ovino</div></div> |
| | | <div><div></div></div> | 6 | <div><div>i. Vacuno</div><div>ii. Ovino</div></div> |
| | Nuevo modelo <div><div></div></div> Polinomios fraccionales | | 5 | |

Esquema 1. Modelos matemáticos descritos para el ajuste de la curva de lactación

Modelos empíricos

Este tipo de modelos se basan en la observación o el experimento y no derivan de la teoría. Se ajustan a los hechos observados, lo que permite predecir lo que sucederá en ciertas circunstancias, porque ya se sabe lo que ha sucedido antes en esas mismas condiciones. El modelo más ampliamente utilizado ha sido la función gamma incompleta de Wood (Wood, 1967), que resulta conveniente para programación ya que se convierte en lineal en su forma logarítmica. Sin embargo, a pesar de su popularidad, esta función tiende a sobreestimar la producción al inicio de la lactación y subestimarla al final de la misma (Cobby y Le Du, 1978). Por ello, Guest (1961) sugirió el uso de una forma equilibrada de la misma para solventar este problema de precisión. Posteriormente, Morant y Gnanasakthy (1989) describieron problemas de altos niveles de correlación entre los parámetros de la función gamma incompleta y sugirieron un nuevo modelo polinomial de cuatro parámetros para solventar dichos problemas, que podía también ser convertido en lineal para evitar problemas de correlación.

Otras funciones de carácter empírico se han propuesto para describir curvas de lactación (Ali y Schaeffer, 1987; Elston et al., 1989; Grossman y Koops, 1988; Keown et al., 1986; Pérochon et al., 1996; Rook et al., 1993; Wilmink, 1987). Entre ellas cabe destacar el modelo de Wilmink (1987) desarrollado en Holanda y que fue la función original aplicada en el programa oficial de evaluación genética del vacuno lechero en Canadá (Schaeffer et al., 2000). También el modelo de base logarítmica de Ali y Schaeffer (1987) ha sido un método de referencia utilizado en numerosos estudios en vacuno lechero. Sin embargo, aunque las distintas funciones tienden a describir la curva de lactación en vacuno mejor que el modelo de Wood, los residuales (diferencial entre los valores estimados por el modelo y los observados en la curva real) derivados del ajuste de estas funciones no se encuentran siempre distribuidos de manera aleatoria a lo largo de la lactación (Olori et al., 1999; Pollott y Gootwine, 2000), lo que resta bondad y exactitud a dichos ajustes.

Modelos biológicos

Más recientemente, algunos autores han propuesto modelos de curva de lactación con interpretación biológica, donde los parámetros de la función tienen un significado biológico en base a la biología de la ubre y que determinan la forma de la curva en función del comportamiento de dichos parámetros (Dijkstra et al., 1997; Neal y Thornley, 1983; Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2000; Rook et al., 1993).

Así, el modelo biológico describe la curva de lactación como una función multifásica con una fase inicial de incremento de la producción y series de fases decrecientes de la producción. La fase de incremento se describe por una función de incremento con el tiempo t asociada al incremento neto del número de células de la glándula mamaria y de la producción de las mismas. Mientras que la fase decreciente se describe mediante la suma de funciones decrecientes con el tiempo t , el descenso de producción asociado al descenso de células productoras por apoptosis y al descenso de la producción celular al avanzar la lactación (Grossman y Koops, 2003).

A modo de ejemplo de esta interpretación biológica, en el modelo de Pollott Aditivo con fórmula:

$$(M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - NO)/NO) \exp(-GR t))) - (MSL_{\max}/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR t)))$$

el parámetro MS se interpretaría como el límite superior de producción láctea diaria que tendría un animal si no hubiese muerte celular en la ubre, a lo largo de la lactación (más información en punto 1.3.2.3.4.).

Modelos previamente evaluados en distintas razas de ovino lechero

En el ganado ovino, encontramos estudios relativamente recientes de la curva de lactación completa en las razas assaf y awassi mejorada bajo condiciones intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). En éstos se evalúan diversos modelos empíricos y biológicos previamente descritos para vacuno, tanto en su versión original como en sus versiones linealizadas, equilibradas o reducidas: Wood (Wood, 1967), Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989), Grossman (Grossman y Koops,

1988) y Pollott Multiplicativo y Aditivo (Albarran-Portillo y Pollott, 2008; Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2000); siendo estos últimos, y en especial sus versiones reducidas de 2 y 3 parámetros, los modelos que lograban un mejor ajuste en ambas razas ovinas.

1.3.2.2. Métodos de evaluación de la bondad de los modelos

Disponemos de distintos métodos a la hora de evaluar la bondad de ajuste de un modelo matemático a una curva, pudiendo agrupar los distintos métodos según si evalúan el ajuste desde un punto de vista matemático o productivo.

| | | ABREVIATURA | INDICA | MEJOR AJUSTE CUANTO |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-------------------------------------|
| Punto de vista matemático | Media de cuadrados de los residuales | <i>RMS</i> | Varianza residual | Menor valor |
| | Análisis de Durbin Watson | <i>DW</i> | Distribución aleatoria de los residuales | Más próximo a 2 |
| | Coefficiente de determinación | <i>R²</i> | Varianza residual | Más próximo a 1 |
| | Test de rachas o Runs Test | | Distribución aleatoria de los residuales | Menor significación |
| | <i>t</i> de Student y Wilcoxon | | Comparar la media y mediana de dos muestras | <i>P</i> >0,05 |
| Punto de vista productivo | Análisis descriptivo de la curva | | | Más parecida a la curva real |
| | Análisis de residuales absolutos | | | Menor valor |
| | Parámetros de caracterización | <i>PTL, PLmax, PerL</i> | | Más próximos a los de la curva real |

Esquema 2. Métodos de evaluación de la bondad de ajuste de modelos matemáticos a curvas de lactación

Desde un punto de vista matemático

La manera de comparar y decidir la bondad de los distintos ajustes proporcionados por los diferentes modelos matemáticos suele realizarse mediante el estudio de los “residuales”, que no son más, *grosso modo*, que las diferencias entre el punto que proporciona el ajuste del modelo o “valor estimado” respecto al valor real o “valor observado”. Así pues, se han desarrollado distintos métodos que evalúan la bondad de los modelos desde un punto de vista matemático que son los que detallamos a continuación.

- **Análisis de la media de cuadrados de los residuales (RMS)**

El *RMS* es una medida que agrupa la variabilidad de aquellos factores que no tiene en cuenta el investigador; que son las diferencias entre el punto real y el que proporciona el ajuste. Éstos se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$RMS = \sqrt{\sum_{t=1}^N (M_{t\ est} - M_{t\ real})^2 / (N - Q)}$$

Dónde $M_{t\ est}$ y $M_{t\ real}$ son, respectivamente, los valores estimados y “real” de producción láctea media diaria en cada uno de las $N=40$ semanas de lactación, y Q es el número de parámetros del modelo.

Dado que el *RMS* se corresponde con la varianza residual, los modelos con mayor capacidad de ajuste son aquéllos que expresan el menor valor de este parámetro.

- **Análisis de Durbin Watson (DW)**

El análisis estadístico *DW* (Durbin y Watson, 1951) mide la presencia de autocorrelación serial de primer orden entre residuales, con el fin de evaluar la distribución aleatoria de los residuales. El valor de *DW* se calcula a partir de la siguiente ecuación, donde e_t es el residual en el tiempo t y e_{t-1} es el residual en el tiempo -1 :

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^N (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^N (e_t)^2}$$

Para su interpretación es fácil adoptar el siguiente criterio: cuanto más próximo sea el valor del parámetro *DW* a 2, mayor será la aleatoriedad y mejor, por tanto, el ajuste del modelo.

- **Coficiente de determinación (R^2)**

El coeficiente R^2 mide el porcentaje de variación total en Y que se debe a las variables que toma el investigador, de modo que informa sobre la proporción de la varianza total que es explicada por el modelo con un valor entre 0 y 1. Sin embargo, también es frecuente expresar esta medida en forma de porcentaje. El valor del R^2 se obtiene a partir de la varianza residual o suma de cuadrados del error (*SCE*) y la varianza o suma de cuadrados total (*SCT*) a partir de la ecuación:

$$R^2 = 1,0 - \frac{SCE}{SCT}$$

A la hora de su interpretación, podemos afirmar que cuando la varianza residual (*SCE*) es igual a 0, el modelo explica el 100% del valor de la variable y R^2 es igual a 1; mientras que cuando la *SCE* coincide con el valor de la varianza (*SCT*) el modelo no explica nada y el valor del R^2 es 0.

- **Test de rachas o Runs Test**

Este test analiza la aparición de sucesos similares separados de sucesos diferentes, dando lugar a una significación de la aleatoriedad. Se utiliza para analizar la distribución aleatoria de los residuales derivados del ajuste de los modelos.

A la hora de interpretar el resultado, a menor significación, mejor será el ajuste del modelo matemático, dado que esto significará que es mayor la aleatoriedad en la distribución de los residuales.

- ***t* de Student y Wilcoxon**

Para determinar la diferencia estadística entre los distintos modelos seleccionados, se pueden comparar las series de residuales de los modelos por pares y llevar a cabo los test de comparaciones pareadas, tanto paramétricos (*t* de Student) como no paramétricos (Wilcoxon). En realidad, la prueba de Wilcoxon es una prueba no paramétrica, que se utiliza como alternativa a la prueba de *t* de Student cuando no se puede suponer la normalidad de dichas muestras, para comparar la mediana de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias entre ellas. De modo que en ambas pruebas, cuando la diferencia resultante sea significativa ($P < 0,05$) se determina que la diferencia no se debe al azar.

Desde un punto de vista productivo

También podemos evaluar la bondad del modelo desde un punto de vista productivo mediante el análisis descriptivo de la curva y los residuales, así como a través de los parámetros de caracterización de la curva de lactación observada frente a la estimada por cada modelo (ver capítulo 2 punto 2.3.3):

- Análisis descriptivo de la forma de la curva estimada por los distintos modelos respecto a la de la curva real observada.
- Análisis de los residuales absolutos (diferencia en litros entre el valor estimado por el modelo y el observado por la curva real para cada semana de lactación) y relativos (diferencial relativo en tanto por ciento, calculado en base a la producción observada en cada semana de lactación).
- Parámetros de caracterización de la curva estimados por los modelos respecto a los valores de los mismos de la curva real observada:
 - Producción total de la lactación (PTL) o producción láctea diaria acumulada hasta los 280 días de lactación.
 - Pico de máxima producción láctea (PLmax) indica el día/semana posparto (Tmax) en que se alcanza la máxima producción diaria.

- Persistencia de la producción (PerL), definida como la tasa de pérdida de producción láctea en ml/día a los 150 días en leche, que se corresponde a la derivada de la curva a los 150 días postparto.

1.3.2.3. Modelos previamente descritos elegidos para el estudio

De todos los modelos previamente descritos en la literatura para el ajuste de curvas de lactación y previamente aplicados a distintas razas ovinas bajo condiciones intensivas de producción aunque no en la raza lacaune, seleccionamos los siguientes modelos: Wood (Wood, 1967), Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989), Grossman (Grossman y Koops, 1988) y Pollott Multiplicativo y Aditivo (Pollott, 2000); en su versión original y/o en sus versiones linealizadas, equilibradas o reducidas.

Además, aplicamos por primera vez al ajuste de curvas de lactación la estrategia de ajuste de curvas denominada Polinomios Fraccionales (Royston y Altman, 1994), previamente aplicada a otros tipos de curvas, como por ejemplo, las curvas de crecimiento (Paladini et al., 2005), pero hasta nuestro conocimiento nunca aplicada al ajuste de curvas de lactación.

Modelo de Wood

El modelo de Wood o función gamma incompleta (Wood, 1967) es el modelo clásico de ajuste matemático de la curva de lactación. De hecho, ha sido utilizado y evaluado en numerosos estudios de la curva de lactación, tanto en vacuno (Morant y Gnanasakthy, 1989; Silvestre et al., 2006) como en diversas razas de ovino (Cappio-Borlino et al., 1995; Pollott y Gootwine, 2000; Portolano et al., 1996; Ruiz et al., 2000; Sakul y Boylan, 1992).

Se trata de una función sencilla (describe la forma básica de la curva de lactación con tan sólo tres parámetros, ver tabla 12) y su ajuste permite el cálculo de las características clave de la curva de lactación como son la media de producción, el pico de máxima producción y el día en que se alcanza el pico (Wood, 1967).

En estudios realizados en ganado vacuno, numerosos autores han descrito la falta de ajuste del modelo cuando se utilizan registros semanales en lugar de mensuales (Morant y Gnanasakthy, 1989). Por otro lado, según (Cobby y Le Du, 1978) la curva tiende a sobreestimar la producción al inicio de la lactación y subestimarla al final de la misma, motivo por el cual propusieron una nueva versión del ajuste, denominado “Wood equilibrado”. Otros autores han desarrollado modificaciones del modelo, como Dhanoa (1981) quien sugirió la reparametrización de la curva de Wood para controlar los condicionamientos entre sus parámetros.

También en ganado ovino se han propuesto modificaciones del mismo con el objeto de mejorar el modelo. Cappio-Borlino et al. (1995) propusieron una versión modificada del modelo con la que lograban alcanzar un mejor ajuste para ovejas de raza sarda. En el estudio de Pollott y Gootwine (2000) en ovejas

awassi el modelo de Wood lineal tuvo problemas de ajuste debido a la distribución no aleatoria de los residuales con respecto al tiempo; mientras que el modelo de Wood lineal equilibrado propuesto por Cobby y Le Du (1978) mejoró el ajuste al inicio de la lactación, y estimó el día del pico de máxima producción con gran precisión, pero tendió a sobreestimar la producción al final de la lactación (Pollott y Gootwine, 2000).

Tabla 12. Fórmula matemática de las funciones de Wood seleccionadas para el estudio

| Nombre de la curva | Función matemática |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Wood | $M_t = at^b e^{-ct}$ |
| Wood lineal | $\ln(Mt) = \ln(a) + b \ln(t) - ct$ |
| Wood lineal equilibrada | Wood lineal con Mt^2 equilibrada |

a; *b* y *c* son los parámetros de la función de Wood (Wood, 1967)

Dado que una de las limitaciones que se achacaban al modelo era su falta de interpretación biológica, Wood (Wood, 1977) trató de interpretar *a posteriori* su modelo dándole un valor biológico a sus parámetros *a*, *b* y *c* en función del flujo de energía del organismo (Masselin et al., 1987):

- El parámetro **a** lo denominaba nivel de producción potencial, definiéndolo como la capacidad intrínseca de secreción de la ubre en función de las reservas movilizables y de la capacidad de ingestión y digestión del animal
- El parámetro **b** lo interpretaba como la capacidad de crecimiento de las células secretoras y de síntesis de lactosa (determinante principal del paso de agua a la leche), ya que no todas las células secretoras son funcionales en el momento del parto
- El parámetro **c** integraría por un lado, el descenso progresivo de la participación de las reservas corporales en la secreción de la leche y por otro, el descenso exponencial del número de células secretoras

Modelo de Morant

Se trata de un modelo polinomial de cuatro parámetros que además, puede ser convertido fácilmente en lineal para evitar problemas de correlación (Morant y Gnanasakthy, 1989). Este modelo inicialmente descrito para vacuno, también ha dado lugar a buenos resultados tras su ajuste a la curva de lactación de la oveja awassi mejorada (Pollott y Gootwine, 2000). Además, proporcionó el mejor ajuste al comparar los distintos modelos evaluados para la descripción de la curva de lactación de la oveja latxa (Ruiz et al., 2000).

Tabla 13. Fórmula matemática de las funciones de Morant seleccionadas para el estudio

| Nombre de la curva | Función matemática |
|----------------------------------|---|
| Morant | $M_t = \exp(f + gt + ht^2 + it)$ $t = (t - 150)/100$ |
| Morant lineal | $\ln(M_t) = f + gt + ht^2 + it$ |
| Morant lineal equilibrado | Morant lineal con M_t^2 equilibrado |

f, g, h e i son los parámetros de la función de Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989)

A pesar de tratarse de un modelo matemático empírico y no de base biológica, los parámetros de este modelo (tabla 13) tienen una interpretación sencilla (Morant y Gnanasakthy, 1989):

- El parámetro **f** es el logaritmo de la producción acumulada, esperada a día 150 de lactación. Es, por tanto, un factor de escala que tiene más peso sobre la producción acumulada que sobre la forma de la curva. Tiene gran correlación entre lactaciones, por lo que parece proporcionar una medida de la producción individual de las lactaciones futuras.
- El parámetro **g** es una tasa que mide el cambio de producción a los 150 días de lactación (porcentaje por día) y es el principal parámetro que afecta a la forma de la curva. Su efecto sobre la producción acumulada es pequeño y también está correlacionado entre la segunda y tercera lactación. Sin embargo, su empleo en la primera lactación para predecir las siguientes lactaciones es poco recomendable.
- El parámetro **h** es el segundo parámetro en importancia a la hora de determinar la forma de la curva y es una medida del grado en que varía la persistencia de la producción a lo largo de la lactación.
- El parámetro **i** determina la tasa de incremento de la producción al inicio de la lactación, pero tiene un escaso efecto después. Este parámetro puede ser imposible de estimar cuando disponemos de datos mensuales en lugar de semanales.

En el ajuste a la curva de lactación de la oveja awassi mejorada realizado por Pollott y Gootwine (2000) esta función resultó ser robusta y flexible, proporcionando un buen ajuste, tanto en su forma lineal como no lineal. La versión del modelo de tres parámetros pudo ser utilizada con una mínima pérdida de precisión y la forma lineal equilibrada fue la mejor para utilizarse a nivel de granja. El mayor inconveniente se relacionó con la subestimación del día del pico y sus dificultades en el cálculo de la producción total, lo que podría deberse a la imprecisión en la forma de la curva, al inicio de la lactación. Sin embargo, la versión de tres parámetros evita este último problema (Pollott y Gootwine, 2000).

Modelo de Grossman y Koops

Se trata de una función multifásica que considera la producción láctea como el resultado de la acumulación de más de una fase de la lactancia (ver tabla 14), mediante regresión no lineal utilizando la suma de múltiples funciones logísticas (Grossman y Koops, 1988). El modelo se ha utilizado con éxito en vacas (Grossman y Koops, 1988; Sherrchand et al., 1995; Vargas et al., 2000), cabras (Gipson y Grossman, 1989) y ovejas (Pollott y Gootwine, 2000), razón por la cual ha sido también el elegido para el presente trabajo.

Tabla 14. Fórmula matemática de la función de Grossman seleccionadas para el estudio

| Nombre de la curva | Función matemática |
|--------------------|---|
| Grossman | $M_t = a_1 b_1 [1 - \tanh^2(b_1(t - c_1))] + a_2 b_2 [1 - \tanh^2(b_2(t - c_2))]$ |

a_i, b_i, c_i donde $i=1,2$ son los parámetros de la función de Grossman (Grossman y Koops, 1988)

Sin embargo, una crítica a este modelo es su falta de interpretación biológica (Rook et al., 1993), por lo que Grossman y Koops (2003) realizaron una interpretación biológica, al tiempo que expandían el modelo difásico a uno multifásico y reparametrizaban la función de modo que sirviera también para las lactaciones extendidas en vacuno. Así el modelo multifásico es el siguiente:

$$M^t = \left(\frac{a_1}{1 + e^{-\frac{(DEL - c_1)}{b_1}}} \right) - \left(\frac{\frac{p_2 a_1}{1 + 0.5e^{-\frac{(DEL - c_{max2})}{b_2}}}}{\left(\frac{p_2 a_1}{1 + 0.5e^{-\frac{(DEL - c_{max2})}{b_2}}} \right)^2} \right) - \left(\frac{\frac{p_3 a_1}{1 + e^{-\frac{(DEL - c_3)}{b_3}}}}{\left(\frac{p_3 a_1}{1 + e^{-\frac{(DEL - c_3)}{b_3}}} \right)^2} \right) - \left(\frac{\frac{p_4 a_1}{1 + 0.5e^{-\frac{(DEL - c_{max4})}{b_4}}}}{\left(\frac{p_4 a_1}{1 + 0.5e^{-\frac{(DEL - c_{max4})}{b_4}}} \right)^2} \right)$$

donde DEL son los días en leche o número de días en lactación y los distintos parámetros cuentan con una interpretación biológica, en la cual los subíndices 1, 2... indican a qué fase se refieren.

Esta función multifásica cuenta con cuatro fases: una primera fase creciente (fase 1 de lactogénesis) seguida por una serie de fases decrecientes (2-4). La primera fase decreciente (fase 2) se asocia a la apoptosis de las células de la glándula mamaria; la segunda (fase 3) al descenso de producción asociado a la gestación y la tercera (fase 4) a un segundo periodo de apoptosis. Dentro de cada fase la función cuenta con una serie de parámetros:

- El parámetro **a** indica el nivel o asíntota de máxima producción. De modo que a_1 indica el nivel de máxima producción en la primera fase, a_2 en la segunda fase, etc. El parámetro a_i varía entre lactaciones por lo que las fases decrecientes (a_2 , a_3 y a_4) no son un valor absoluto sino una proporción de a_1 ($a_2 = p_2 a_1$), siendo P un valor constante para cada fase.
- El parámetro **b** es proporcional a la duración de cada fase (1-4).

- El parámetro c puede ser interpretado como el tiempo de máximo incremento (c_1) o descenso (c_3) ya que se encuentran en una función lineal. Sin embargo, los parámetros c_2 y c_4 no pueden ser interpretados del mismo modo dado que se encuentran dentro de una función cuadrática, por lo que están reparametrizados como c_{\max} , para incluir el momento del máximo descenso.

Modelos de Pollott (Pollott Aditivo, Pollott Multiplicativo y sus versiones reducidas)

A diferencia de los modelos empíricos de ajuste de la curva de lactación, donde los parámetros carecen o cuentan con escasa interpretación biológica y si existe se aplica *a posteriori*, Pollott diseñó una serie de funciones (ver tabla 15) que le permitiesen describir la lactación de forma específica, en base a los conocimientos de la biología de la producción láctea durante la gestación y la lactación (Albarran-Portillo y Pollott, 2008; Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2000). De manera que estos modelos se basan *a priori*, en los conocimientos biológicos de la fisiología de la ubre (Knight et al., 1998; Knight y Wilde, 1993; Wilde et al., 1997) sobre los cambios en el número de células de la glándula mamaria durante la gestación, lactación e involución, y sus efectos sobre la producción láctea. Tres son los principales procesos involucrados: la proliferación celular del parénquima mamario, la diferenciación hacia células con actividad secretora y la reducción del número de células secretoras mediante apoptosis (Pollott, 2000).

A partir de esta idea desarrolló dos modelos matemáticos básicos que relacionan la producción diaria y el día de la lactación logrando muy buenos ajustes: aditivo y multiplicativo. El modelo aditivo describe la curva de lactación como la diferencia entre el número de células diferenciadas que se forman en el parénquima y las que se pierden; mientras que el modelo multiplicativo determina la proporción de células diferenciadas del parénquima que permanecen durante cada día de la lactación (Pollott, 2000).

Tabla 15. Fórmulas matemáticas de las funciones de Pollott seleccionadas para el estudio

| Nombre de la curva | Función matemática |
|---|---|
| Pollott Aditivo (6 variables) | |
| | $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - NO)/NO) \exp(-GR \ t))) - (MSL_{\max}/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR \ t)))$ |
| Pollott Multiplicativo (5 variables) | |
| | $M_t = ((MS_{\max}/(1 + ((1 - NO)/NO) \exp(-GR \ t))) \cdot (1/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR \ t))))$ |
| Pollott Mult reducido (4 variables) | |
| | $M_t = ((MS_{\max}/(1 + ((1 - NO)/NO) \exp(-GR \ t))) \cdot (2 - \exp(DR \ t))$ |
| Pollott Mult reducido (3 variables) | |
| | $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - 0.9999999)/0.9999999) \exp(-0.1t))) \cdot (1/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR \ t)))$ |
| Pollott Mult reducido (2 variables) | |
| | $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - 0.9999999)/0.9999999) \exp(-0.1t))) \cdot (2 - \exp(DR \ t))$ |

MS , NO , GR , NOD , DR y MSL son los parámetros de las funciones de Pollott (Pollott, 2000)

La interpretación de los parámetros biológicos de los modelos es la siguiente (Pollott, 2000):

- Máximo potencial secretor (**MS**), es el límite superior de la cantidad de leche que puede producir un animal por día si no hubiese muerte celular durante la lactación.
- Proporción del número máximo de células secretoras que están presentes al inicio de la lactación (**NO**). Indica lo próxima que está la ubre de la producción máxima potencial al inicio de la lactación. Si bien este parámetro tiene escaso interés práctico, sí podría estar influenciado por la edad u otros factores.
- Tasa de proliferación relativa del número de células secretoras (**GR**). Describe la velocidad a la que se incrementa el número de células activas durante la gestación y el inicio de la lactación. Éste es un valor estandarizado que permite comparar entre animales y lactaciones.
- Máxima pérdida de secreción (**MSL**). Este parámetro es difícil de interpretar biológicamente: indicaría la pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación.
- Proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación (**NOD**). Este valor se relaciona con la discusión sobre cuándo se inicia la apoptosis (Wilde et al., 1997). Implicaría que un cierto número de células secretoras se pierde antes del inicio de la lactación, o bien podría ser el resultado de utilizar una función matemática rígida para describir la tasa de secreción y apoptosis.
- Tasa de reducción del número de células secretoras (**DR**). Indica la rapidez del descenso de la producción hasta el final de la misma. Este factor es una medida de la persistencia y se ve afectada por el manejo de la lactación.

El ajuste de la curva de lactación de la oveja awassi mejorada realizado por Pollott y Gootwine (2000) mediante los modelos de Pollott (2000) alcanzó su máxima precisión cuando se utilizaron registros semanales, pero resultó menos preciso que el modelo de Morant con datos mensuales. Sin embargo, estas funciones matemáticas presentan la gran ventaja de contar con su interpretación biológica, por lo que pueden ser mucho más interesantes en ciertas situaciones (Pollott y Gootwine, 2000).

La aplicación de estos modelos a registros mensuales es posible, si bien, requieren la reducción en el número de parámetros. Para ello se pueden reemplazar algunos por coeficientes o valores medios dando lugar a los diferentes modelos de Pollott "reducidos" (Pollott, 2000). Con este fin Pollott y Gootwine (2000) desarrollaron diferentes versiones del modelo con 2 y 3 parámetros que parecen ajustarse mejor a las lactaciones ovinas que otros modelos y que son más recomendables cuando el total de datos disponibles por lactación es escaso

Tabla 16. Media y desviación estándar de los principales parámetros estimados en la curva de lactación de las razas assaf (Pollott y Gootwine, 2004) y awassi mejorada (Pollott y Gootwine, 2000) bajo condiciones intensivas de producción

| Parámetro | Abreviatura | Raza | |
|---|-------------|--------------------|--------------------|
| | | Awassi | Assaf |
| Máximo potencial secretor (l/día) | MS | 3,9 \pm 1,15 | 2,89 \pm 0,99 |
| Tasa de proliferación de células secretoras | GR | 0,067 \pm 0,055 | 0,027 \pm 0,038 |
| Tasa de apoptosis de células secretoras | MSL | 0,0204 \pm 0,007 | 0,0151 \pm 0,006 |
| Incremento de producción ½ inicio y pico (g/d) | CrP | 62 \pm 31,9 | 71,7 \pm 61,2 |
| Descenso de producción ½ entre pico y fin (g/d) | Per | 16,5 \pm 9,1 | 11,3 \pm 6,4 |
| Producción total calculada (l) | PTC | 482 \pm 157 | 317 \pm 126 |

En los trabajos de Pollott y Gootwine (2000, 2004) se estimaron las constantes del ajuste, esto es, las principales características de la curva de producción de las razas awassi mejorada y assaf bajo condiciones comerciales utilizando el modelo de Pollott Multiplicativo reducido de 3 parámetros (tabla 16 y figura 10) con muy buenos resultados. Ello nos hizo pensar que el ajuste de estos modelos a los datos productivos de la oveja lacaune en la explotación del presente trabajo, en la que contamos con una gran disponibilidad de registros individuales por lactación, podía ser muy prometedor.

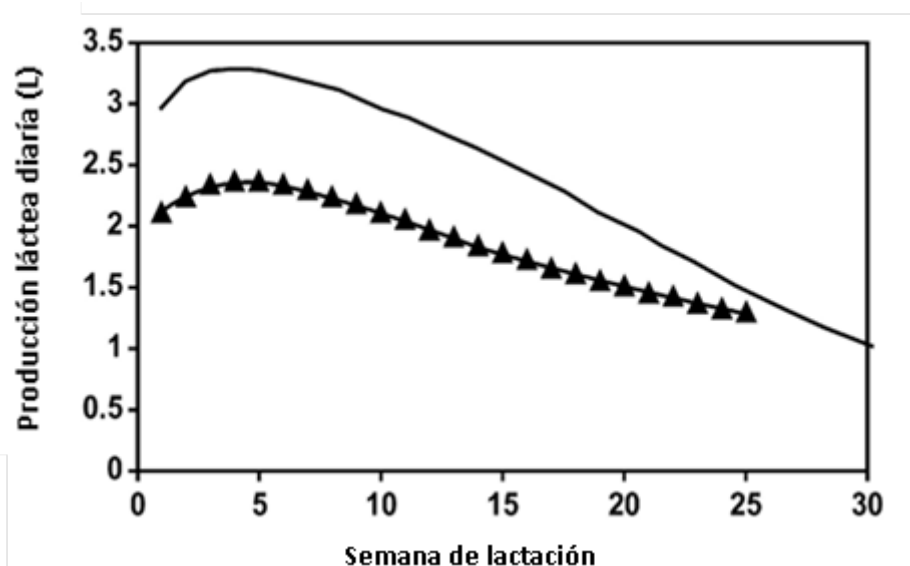


Figura 10. Comparación de las curvas de lactación “típicas” de la raza assaf ▲ y awassi — (Pollott y Gootwine, 2004)

1.3.2.4. Nueva estrategia de ajuste: Polinomios Fraccionales

La estrategia de ajuste de curvas denominada de polinomios fraccionales fue introducida por Royston y Altman (1994) y posteriormente modificada por Sauerbrei y Royston (1999). Se trata de una extensión del método del polinomio, bien conocido para modelos con variables continuas, para aumentar la gama de funciones que pueden ser representadas, manteniendo la simplicidad y la tratabilidad matemática.

Esta estrategia de ajuste de curvas ha sido utilizada hasta la fecha para numerosos estudios de muy distinta índole: curvas de crecimiento (Paladini et al., 2005), cinética de emisión de la leche en el ordeño mecánico de ovejas de raza cruzada sarda y lacaune (Casu et al., 2003), análisis epidemiológico de variables de riesgo continuas (Cui et al., 2009; Royston y Altman, 1994; Royston et al., 1999), estudios de supervivencia (Lambert et al., 2005) o análisis clínicos en que se estudian los resultados del tratamiento (Royston y Sauerbrei, 2004). Sin embargo, hasta nuestro conocimiento, esta estrategia no ha sido aplicada al ajuste de curvas de lactación, por lo que podría tratarse de una alternativa de ajuste matemático sencillo (principalmente, en comparación con las funciones de interpretación biológica) si el ajuste obtenido llegara a ser satisfactorio.

En estos modelos se denomina X a la variable continua que se somete a distintas transformaciones. Así, obtenemos el polinomio de primer orden (es decir, la función lineal) $y = a + bx$, que se amplía hasta el polinomio fraccional de primer orden o la función de PF1, modelo que generaliza funciones lineales ($y = bx^p$).

Los posibles valores de la potencia P se seleccionan inicialmente de una serie concreta de valores $S = (-2, -1, -0,5, 0, 0,5, 1, 2, 3)$ (Royston y Altman, 1994). Posteriormente, Royston y Sauerbrei (2008) extienden la definición a modelos de polinomios fraccionales de grado m , donde m es un entero mayor o igual a 1.

En la función x^0 denota la función logarítmica $\log(x)$, dando lugar al polinomio de segundo grado ($y = a + bx + cx^2$), que se extiende hasta el polinomio de segundo orden fraccional o función PF2 ($y = a + bx^p + cx^q$) ó ($y = a + bx^p + cx^q \log x$). Estos modelos PF2 generalizan funciones cuadráticas.

Royston y Altman (1994) demostraron que mediante la variación de potencias (p, q) y los coeficientes (b, c), se pueden crear un gran número de curvas a partir de funciones matemáticas sencillas, lo que otorga gran flexibilidad a la hora de modelar relaciones no lineales en datos reales. Para modelar un conjunto de datos de tamaño n usando polinomios fraccionales es necesario determinar los mejores valores de m y p . Finalmente, seleccionamos la mejor transformación PF2, el mejor ajuste y el más sencillo, mediante el método de máxima verosimilitud (tabla 17).

Tabla 17. Fórmula matemática de la función denominada polinomios fraccionales seleccionadas para el estudio

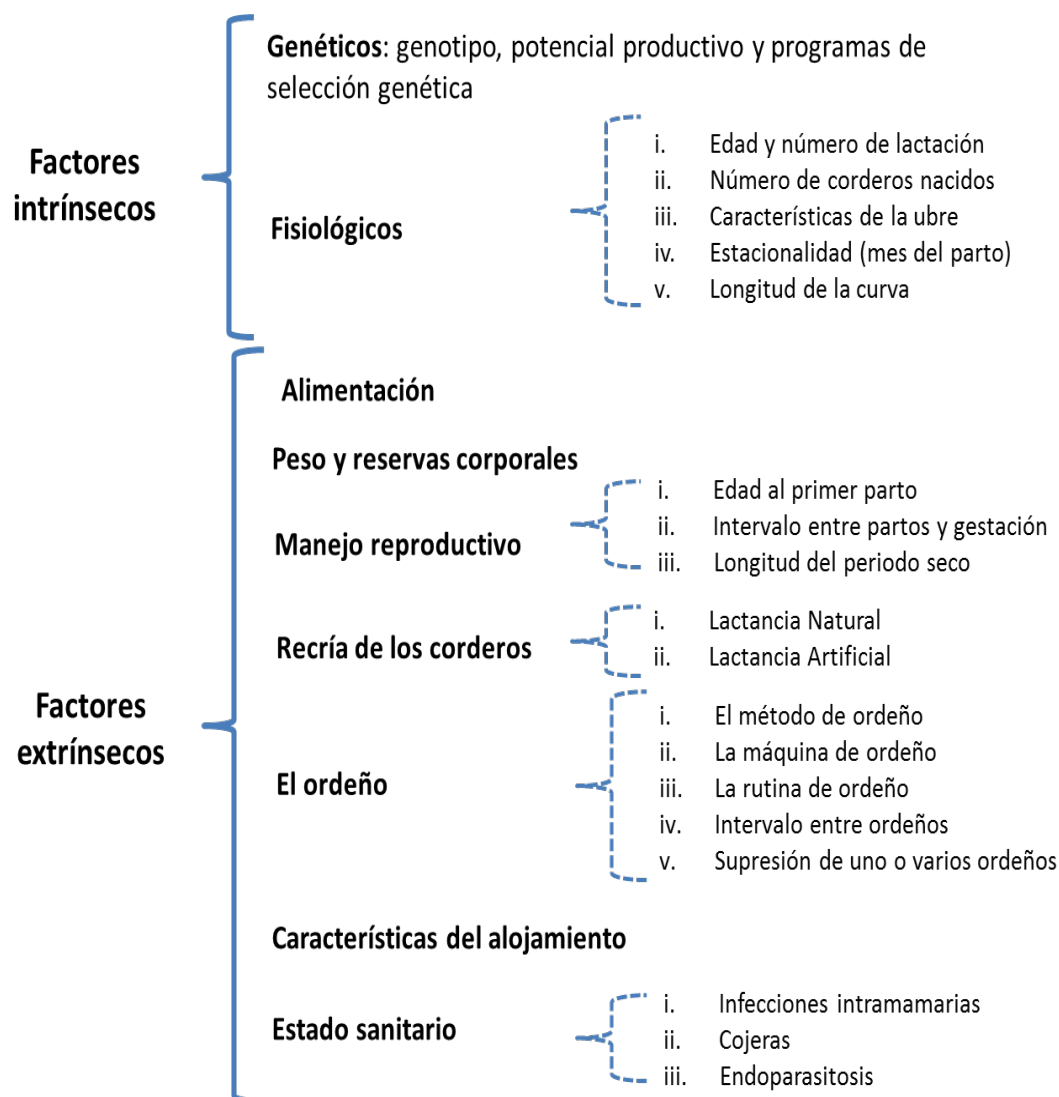
| Nombre de la curva | Función matemática |
|--------------------------------|--|
| Polinomios Fraccionales | $M_t = k + k_1t + k_0\ln(t) + k_{0.5}t^{0.5} + k_2t^2$ |

$k, k_1, k_0, k_{0.5}, k_2$ son los coeficientes de la ecuación lineal PF

1.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA CURVA DE LACTACIÓN OVINA

La producción de leche en el ganado ovino puede verse influida por numerosos factores que ejercen su acción a lo largo del ciclo de producción de la oveja. La determinación de dichos factores, así como la cuantificación del efecto sobre la curva de lactación es un dato de gran relevancia a la hora de mejorar y modificar medidas de manejo, diseño de instalaciones, protocolos de trabajo, etc.

Los factores podemos dividirlos en dos grandes grupos (Buxadé, 1996): factores intrínsecos, es decir, aquéllos que dependen directamente del animal y son, por tanto, difíciles de modificar y los factores extrínsecos, también llamados ambientales, que son aquéllos sobre los que podemos actuar de forma sencilla a través de prácticas de manejo.



Esquema 3. Factores que afectan a la curva de lactación de las ovejas lecheras

1.4.1. Factores intrínsecos

1.4.1.1. Factores genéticos: genotipo, potencial productivo y programas de selección genética aplicados a la raza

Las diferencias productivas entre las principales razas lecheras de ovejas han quedado evidenciadas en el epígrafe 1.2. A pesar de que algunas de ellas son atribuibles a los efectos del medio, cabe señalar cómo otras son debidas claramente al efecto de la individualidad de los animales, o en definitiva, a su base genética. En este sentido, definimos el potencial productivo como la producción de leche que es capaz de producir una raza cuando su genotipo se manifiesta bajo condiciones ambientales óptimas (Buxadé, 1996).

Las razas ovinas presentan niveles de producción potencial muy variables (ver tabla 18). Así las razas más locales y algunas razas destinadas a la producción de lana presentan niveles de producción muy bajos (<60 l) (Buxadé, 1996). Éste sería por ejemplo el caso de la raza merina con producciones descritas entre 15-30 kg por lactación. Por otro lado, estarían las razas de aptitud mixta (como la castellana o la churra) destinadas a la producción de corderos y en menor medida de leche, que presentan niveles intermedios de producción entre 60-200 l en lactaciones cortas de 90 días (Daza Andrada, 1997). Y por último, encontramos las razas especializadas en producción lechera con niveles de producción por lactación superiores a 200 l. Dentro de este último grupo encontramos grandes diferencias entre las distintas razas. Estas diferencias se deben, por un lado, al potencial productivo de la raza y por otro, a los distintos programas de selección llevados a cabo con el fin de mejorar el nivel de producción. Así, tenemos desde razas locales como la castellana con producciones, tras el amamantamiento del cordero durante un mes, menores a 130 l en seis meses de ordeño; pasando por otras razas con producciones intermedias, como la churra o la sarda, con producciones entre 150-220 l en lactaciones de 200 días; y finalmente, las razas más seleccionadas como la east friesland o la assaf con lactaciones largas y producciones por lactación de hasta 1.000 l (Buxadé, 1996; Infocarne, 2011; Treacher y Caja, 2002).

Tabla 18. Clasificación de las principales razas ovinas en relación con su nivel de producción láctea

| | | |
|----------------------|-------------------|--|
| Potencial productivo | ALTO >200 l | Assaf, awassi, sarda, chios, lacauane, milchschaft |
| | MEDIO 60-200 l | Chipriota, karagouniko, pramenca, plevén, stara zagora, comisana, churra, carranzana, latxa, manech, corsa, kymi, leccese, skopelos, castellana, manchega, serra da estrela, massese, saloia |
| | BAJO <60 l | Arabi, karaman, karakachan, kivercik, ruda, zackel, tsigai, bordaleiro, mytileni, silicosarda, merina, talaverana, sopravissana |

(Buxadé, 1996)

Respecto al efecto de los programas de selección genética pondremos a modo de ejemplo el caso de la raza lacaune, objeto de nuestro estudio. Dicha raza está sometida desde hace más de treinta años a un riguroso esquema de selección en Francia. Dicho esquema ha dado lugar a animales con un excelente nivel productivo y con una morfología mamaria perfectamente adaptada al ordeño mecánico. De hecho, la media de producción se ha incrementado en el núcleo de selección de la raza sometido a manejo tradicional con amamantamiento durante un mes, desde los 80 litros en 135 días de lactación que se obtenían en los años 60 hasta los 270 litros en 165 días de lactación descritos en 1999 (Barillet et al., 2001).

1.4.1.2. Factores fisiológicos

Edad y número de lactación

La edad de la oveja, muchas veces evaluada a través del número de lactación en que se encuentra, es otro de los factores que condicionan la producción. Por lo general, en las distintas razas de ovejas la producción se incrementa con el número de lactación, siendo mayor el incremento entre la primera y segunda lactación, donde puede alcanzar el 20%. Hasta alcanzar un máximo, según la raza, en la 3ª, 4ª o 5ª lactación (Buxadé, 1996). En la raza latxa la máxima producción se alcanza en la 4ª-5ª lactación (Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000). Sin embargo, en la raza assaf bajo condiciones intensivas, la máxima producción se alcanza ya en la segunda lactación comenzando a disminuir a partir de la tercera lactación (Pollott y Gootwine, 2004). El descenso de producción con la edad en las ovejas assaf (Pollott y Gootwine, 2004) se debe a un menor pico de producción combinado con una menor persistencia que da lugar a lactaciones más cortas.

En la raza awassi mejorada el número de lactación influye todos los parámetros de la curva de lactación analizados (Gootwine y Pollott, 2000). Así, la producción total, la duración de la lactación, el pico de lactación y el máximo potencial secretor son menores en la primera lactación, incrementándose hasta alcanzar un máximo en la segunda y tercera lactación, para posteriormente pasar a disminuir progresivamente.

Otro de los parámetros que relacionan la edad y la producción lechera es la edad a la que tiene lugar el primer parto (Buxadé, 1996), parámetro condicionado por el manejo reproductivo del rebaño, por lo que se desarrollará en el punto 1.4.2.3.

Número de corderos nacidos

Se ha sugerido que la prolificidad afecta al desarrollo de la ubre y en consecuencia, a la producción de la oveja (Butler et al., 1981). Byatt et al. (1992) expusieron que el efecto del número de fetos sobre la producción futura podía deberse al mayor desarrollo placentario en las gestaciones dobles o triples, lo

que conllevaría una mayor producción de esteroides ováricos y otras hormonas placentarias, como el lactógeno placentario, efectivamente elevado en las ovejas con gestación múltiple (Schoknecht et al., 1991). Este hecho tendría como consecuencia un mayor desarrollo de la estructura mamaria, lo que se traduciría en un incremento productivo durante la lactación.

No obstante, en estudios realizados bajo sistemas de producción intensiva con la raza awassi mejorada y assaf, el aumento de la PTL en las ovejas con gestación múltiple aunque significativo ($P<0,05$), era escaso: alrededor del 6% en la raza assaf (Pollott y Gootwine, 2004) y del 3-4% en la raza awassi mejorada (Gootwine y Pollott, 2000). Sin embargo, el lactógeno placentario se multiplica dos o tres veces en la raza awassi mejorada, sugiriendo que debe haber otros factores involucrados, además del lactógeno placentario (Gootwine y Pollott, 2000). Por otro lado, en ambos estudios citados, el tamaño de la camada, además de a la PTL, afectaba también significativamente a otros parámetros de caracterización de la curva de lactación. En el caso de la raza awassi se incrementaba significativamente el PLmax y el CrP (Gootwine y Pollott, 2000); mientras que en la raza assaf (Pollott y Gootwine, 2004) se incrementaba la D alrededor de un 1% debido a un ligero incremento del PLmax y CrP.

La participación de factores asociados a la gestación múltiple queda puesta en evidencia dado que las ovejas que gestan dos corderos y crían sólo uno son más productoras que las que gestan y crían sólo uno (Buxadé, 1996). Por otro lado, en los trabajos previamente citados en las razas assaf y awassi mejorada bajo condiciones intensivas, el cordero se separaba de la madre tras el nacimiento para su lactancia artificial, por lo que la diferencia observada no se debía al efecto asociado al posterior amamantamiento del cordero, sino exclusivamente al mayor tamaño de camada (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). No obstante, tal y como veremos en el punto 1.4.2.4., junto al número de corderos nacidos, el número de corderos amamantados afectará, aún en mayor medida, a la producción láctea de la madre.

Características de la ubre

- ***Anatomía y morfología de la ubre***

Las condiciones morfológicas de la ubre condicionan en gran medida la producción, y especialmente la aptitud para el ordeño mecánico. Todos los parámetros utilizados para caracterizar el tamaño de la ubre (volumen, anchura, perímetro y profundidad) están positivamente correlacionados con la producción de leche. De ellos, el volumen es el que presenta mayor correlación, aunque se ha visto que no es suficiente con que sea elevado sino que éste debe corresponderse con la mayor cantidad posible de tejido glandular (Buxadé, 1996).

- **La cinética de emisión de la leche**

En el ganado ovino la leche se sintetiza de forma continua en las células secretoras de los alvéolos donde una parte de ella, la leche alveolar, se acumula, mientras que otra parte, la leche cisternal, desciende por los conductos galactóforos hasta almacenarse en la cisterna de la ubre (Buxadé, 1996). A diferencia del vacuno, los pequeños rumiantes presentan proporcionalmente mucho mayor tamaño cisternal (40-80% del volumen total) (Marnet y McKusick, 2001).

Por tanto, la extracción de la leche cisternal no resulta difícil, mientras que para la obtención de la leche alveolar se precisa la eyección de la leche por parte del animal. Según la respuesta a este mecanismo de eyección se ha constatado la existencia de dos tipos de animales: ovejas de fácil y de difícil ordeño. Las primeras tienen un patrón de emisión bimodal suministrando una primera emisión de leche que comienza a los 0-30 segundos después de colocar las unidades de ordeño, y se corresponde con la fracción de leche cisternal (1ª emisión), seguida de una segunda emisión de leche, que comienza entre 30-40 segundos después de colocar las unidades de ordeño, y se corresponde con la leche alveolar (2ª emisión). Por el contrario, las ovejas de difícil ordeño presentan un patrón de emisión unimodal liberando únicamente la fracción cisternal (1ª y única emisión) y reteniendo, por tanto, una cantidad importante de leche (Buxadé, 1996; Marnet y McKusick, 2001).

Dado que el patrón de emisión de leche se mantiene bastante constante en el individuo, éste se ha utilizado para clasificar las ovejas, considerándose a aquéllas bimodales y con una mayor fracción cisternal las más adaptables al ordeño y las más productoras de leche (Marnet y McKusick, 2001).

En las ovejas de patrón bimodal, el reflejo de eyección aparece progresivamente en la lactación, iniciándose durante el primer mes, lo que podría indicar cierta adaptación de la oveja al ordeño, tendiendo a desaparecer al final de la lactación (Buxadé, 1996).

Entre los años 70-80 más del 30% de las ovejas de raza lacaune (del área de Roquefort en Francia) presentaban un patrón de emisión unimodal. Sin embargo, estudios más recientes llevados a cabo en los años 90 observaron una importante inversión de la tendencia, ya que menos del 10% de las ovejas lacaune presentaron dicho patrón. Esto podría indicar que la selección genética llevada a cabo para incrementar la producción habría seleccionado indirectamente a las ovejas de patrón bimodal más adaptadas al ordeño (Marnet y McKusick, 2001).

Curiosamente, en la actualidad, el citado patrón de emisión no resulta tan claramente evidenciable dado que, bien por el incremento de la producción, bien por el descenso del flujo medio de leche, el segundo pico queda enmascarado, ya que antes de eliminarse completamente la fracción cisternal comienza a descender la fracción alveolar, al igual que ocurre con otras especies de alta producción, como la vaca o la cabra (Marnet y McKusick, 2001).

Estacionalidad (mes del parto)

Bajo condiciones de pastoreo, se ha observado una mayor producción láctea en distintas razas ovinas, como la lacaune, sarda y latxa cuando la lactación comienza en primavera (Barillet, 1985; Carta et al., 1995; Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000). El efecto estacional se asoció parcialmente a la disposición de pasto, la cual tendría un efecto especialmente positivo en las ovejas que paren cerca de este periodo y alcanzan el inicio de la lactación en primavera. De hecho, en la raza latxa las mayores producciones se hallan en las ovejas que paren entre noviembre y febrero, mientras que las menores se asocian a las ovejas que paren a partir de marzo (Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000). Según los autores, estas diferencias en producción se deben, de manera obvia, a la duración de la lactación, ya que las ovejas que paren en noviembre y diciembre tienen lactaciones más largas (Ruiz et al., 2000).

Bajo condiciones de producción intensivas, en ausencia de pastoreo y con raciones alimenticias adaptadas al nivel de producción, las variaciones asociadas a la estacionalidad tendrían que ser mínimas (Pollott y Gootwine, 2004). Sin embargo, Gootwine y Pollott (2000) y Pollott y Gootwine (2004) evidenciaron variaciones estacionales asociadas a los efectos del fotoperiodo (longitud del día y variación del mismo) y la temperatura ($P < 0,001$) en condiciones intensivas de producción. El efecto sobre la producción diaria de leche en la raza awassi mejorada tiene lugar desde antes de iniciarse la lactación en el último mes de gestación (Gootwine y Pollott, 2000). La longitud del día, calculada a día 15 del mes, da lugar a la mayor variación en la producción. De hecho, las lactaciones iniciadas en invierno (enero-marzo) dan lugar a mayores producciones que las iniciadas en primavera-verano (figura 11) (Gootwine y Pollott, 2000).

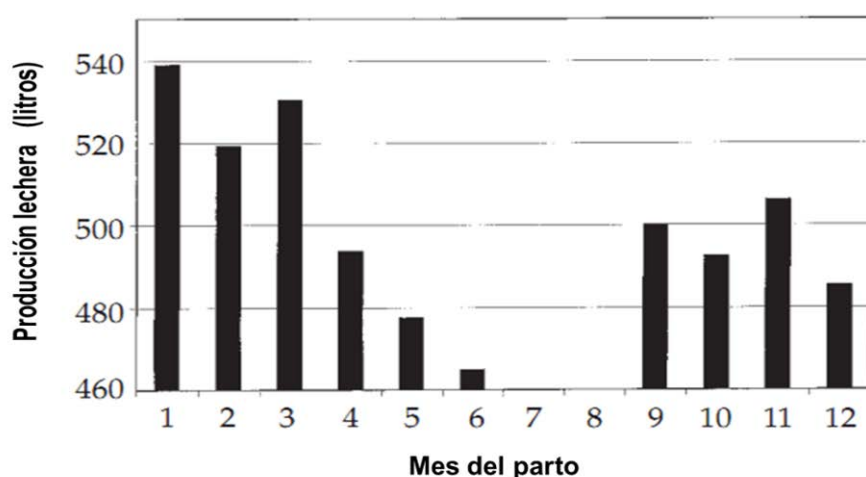


Figura 11. Producción total (l) según el mes de inicio de la lactación en ovejas de raza awasi mejorada bajo condiciones intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000)

La menor producción durante los meses de verano, cuando se alcanzan las temperaturas más altas del año, podría explicarse por un descenso en la ingesta de alimento asociado a la temperatura, así como a los posibles efectos directos del estrés por calor sobre la síntesis y secreción de leche (Gootwine y Pollott, 2000), de forma similar a lo que ocurre en el ganado vacuno holstein (West, 2003).

Así, según Pollott y Gootwine (2004) las ovejas awassi mejoradas bajo condiciones intensivas en Israel que paren en mayo y diciembre tienen, por mecanismos distintos, producciones totales similares, pero debido a muy distintos mecanismos. Mientras que las ovejas que paren en mayo tendrían mayores producciones debido a la exposición a días más largos durante el verano, ven mermada su producción por las altas temperaturas y por el cambio del fotoperiodo hacia días más cortos. En contraposición, las ovejas que paren en diciembre tienen una contribución relativamente menor del fotoperiodo asociado a la longitud del día, pero no tienen el efecto negativo de las altas temperaturas y sí el efecto positivo del cambio de fotoperiodo hacia días más largos. De hecho, en el trabajo de Pollott y Gootwine (2004) con estas ovejas awassi, la longitud de los días en el periodo previo al parto tuvo un efecto significativo sobre la producción alcanzada en la siguiente lactación de modo que la presencia de días cortos antes del parto mejoraba la productividad (Pollott y Gootwine, 2004).

Sin embargo, no está claro cómo afectan los días cortos durante el periodo preparto a la producción futura. La hipótesis de Neville et al. (2002) defiende que el fotoperiodo afectaría directamente a la expresión y actividad de ciertas hormonas como la progesterona, prolactina, y lactógeno placentario. Otra posibilidad sería que la exposición a días cortos pudiera modificar la respuesta de las ovejas al efecto longitud del día tras el parto (Pollott y Gootwine, 2004).

El resultado de estos factores estacionales se comprobó al detectar el efecto del mes de cubrición en la raza assaf bajo condiciones intensivas sobre la producción, la duración de la lactación y la persistencia (Pollott y Gootwine, 2004), sustituyéndose posteriormente dicho parámetro por los tres factores estacionales (longitud del día, variación de la longitud del día y temperatura). Así, se evidenció que las ovejas y corderas assaf que contaban con días largos o cortos previo al parto, producían más o menos leche a lo largo de la lactación, respectivamente. Sin embargo, aunque la diferencia era significativa ($P < 0,001$) el efecto era relativamente pequeño, produciendo 0,014 l de leche más por día las ovejas paridas en el mes de enero, lo que supone unos 2,4 l sobre una lactación total de 334 l. De igual modo, en las ovejas awassi mejoradas, la producción diaria de leche era 0,235 l mayor que la media a mediados de junio, mientras que a mediados de diciembre descendía 0,205 l con respecto a la media, principalmente debido a la menor longitud de los días. Además, las ovejas más productoras se vieron más afectadas por el efecto estacional que las de menor producción (Gootwine y Pollott, 2000).

Longitud de la curva

Con independencia del mes del parto, las lactaciones más largas siempre se asocian a mayores producciones en la raza latxa (Ruiz et al., 2000). Sin embargo, en los trabajos de Gootwine y Pollott (2000) y Pollott y Gootwine (2004) en las razas israelitas awassi y assaf bajo manejo intensivo, la duración de la lactación no influencia la PTL.

1.4.2. Factores extrínsecos

1.4.2.1. Alimentación

La alimentación de la oveja es especialmente importante a partir del último tercio de gestación en que tiene lugar el desarrollo del tejido secretor de la ubre, probablemente debido a la acción del lactógeno placentario secretado durante la gestación, lo que incrementaría el número de células mamarias secretoras y por tanto, el potencial productor (Byatt et al., 1992).

Un ejemplo del efecto de la nutrición durante la gestación son los experimentos de Bizelis et al. (2000) y Charismiadou et al. (2000), que alimentaron ovejas gestantes con dos niveles distintos de energía (alto: 110% del requerimiento energético y bajo: 90% del requerimiento). Las ovejas alimentadas con un plano energético alto tenían una ubre mayor a los 140 días de gestación y mayor número de células secretoras (mayor contenido en ADN). Tras el parto, las ovejas de ambos grupos fueron alimentadas igual. Sin embargo, las ovejas alimentadas con bajo nivel energético durante la gestación mostraron una mayor ingesta de energía al inicio de la lactación, para posteriormente no haber diferencias. La producción láctea fue significativamente mayor en las ovejas alimentadas con mayor nivel energético durante la gestación. Esto se debió, por un lado, al mayor número de células mamarias secretoras y por otro, a la mayor disposición de reservas corporales al inicio de la lactación (Cannas et al., 2002).

Por tanto, una apropiada alimentación durante la gestación influencia la producción lechera porque permite acumular suficientes reservas grasas y proteicas, que podrán ser movilizadas, posteriormente, durante los primeros meses de lactación. En la fase inicial de la lactación se produce un aumento rápido de la producción pero también de la demanda, tanto energética como protéica. Sin embargo, la capacidad de ingestión es limitada, por lo que se produce un desfase y la consecuente pérdida de peso de las ovejas al inicio de la lactación (Buxadé, 1996; Rassu et al., 2004). Por ello, es muy importante que la oveja tenga suficientes reservas corporales nada más parir. Así, el plano nutritivo, referido al nivel de energía ingerido, es un factor importante que afectará positivamente al nivel de producción y composición de la leche (Bocquier y Caja, 1999). De hecho, las ovejas alimentadas con un plano energético alto alcanzan un pico de producción mayor y de forma más temprana.

El efecto de la alimentación sobre la composición de la leche es menos claro, debido a las interacciones entre la evolución de la composición de la leche y el efecto dilución indirectamente asociado al incremento de la producción (Bocquier y Caja, 1999). Por otro lado, a mitad o al final de la lactación, los cambios en la alimentación afectan principalmente a la persistencia y /o a la recuperación de la CC, quedando limitado el efecto sobre la producción y composición de la leche (Bocquier y Caja, 1999).

1.4.2.2. Peso y reservas corporales

Parece existir una relación positiva entre el peso vivo de la oveja al parto y su nivel de reservas corporales con la producción de leche a lo largo de toda la lactación (Buxadé, 1996). La condición corporal (CC) de la oveja en el momento del parto, medida con escala entre 0 (muy delgada) y 5 (extremadamente gorda), es uno de los factores que más influencia la producción lechera durante los primeros meses de lactación, dado que parte de la leche producida en esa fase depende de la movilización de grasa corporal (Cannas, 2004b). Esto se debe a que, tal y como se ha comentado anteriormente, el requerimiento energético del animal es superior al alcanzable a través de la ingesta en esta primera fase de lactación. Por ello, durante los primeros meses de lactación la oveja produce parte de su leche, más de un tercio, gracias a la movilización de sus reservas grasas y proteicas (Cannas, 2004b).

Por ello las ovejas deben llegar al parto con una buena CC, apuntando como CC ideal 2,5 – 3 un mes antes del parto y 2 - 2,5 al parto (Fthenakis et al., 2012). Sin embargo, el INRA sugiere una CC óptima al parto de 3,25-3,5 (ver figura 12) (Cannas, 2004b; INRA, 1988). Esta diferencia pone de manifiesto que estos valores de referencia óptimos podrían ser distintos según las razas. De hecho, Ronchi et al. (1993) al comparar la CC de las ovejas lacaune y sarda evidenciaron cómo en la oveja sarda con una CC de 2 hay gran deposición de grasa a nivel visceral, mientras que en la lacaune ésta sólo se produce a partir de una CC de 3. Se requirieron por tanto nuevos estudios que definan los valores de referencia de CC en las distintas razas (Cannas, 2004b).

En las ovejas con baja CC en el mes previo al parto ($CC \leq 2$) es recomendable proporcionar energía adicional en la dieta a fin de prevenir la aparición de toxemia de gestación y problemas en el parto por debilidad (Cannas, 2004a). Por otro lado, también debemos evitar que alcancen una condición corporal excesiva ($CC \geq 4$), ya que ésta predispone al padecimiento de toxemia de gestación, debido al incremento de cuerpos cetónicos en sangre como resultado del catabolismo lipídico. Se trata pues de un delicado equilibrio dado que la administración de bajos niveles de energía en la fase final de la gestación dará lugar a toxemia de gestación; pero por otro lado, un exceso de energía puede dar lugar al mismo desorden, así como a distocia por desproporción maternofetal (Fthenakis et al., 2012).

Una vez iniciada la lactación las ovejas no deberían perder más de un punto de CC en las primeras semanas postparto (Cannas, 2004b). Una excesiva pérdida de peso durante la primera fase de lactación

provocará una reducción en la producción láctea que tendrá efectos negativos sobre la segunda parte de la lactación, incrementará el riesgo de cetosis y además, reducirá la fertilidad (Cannas, 2004b), hecho claramente constatado en el ganado vacuno (Roche, 2006).

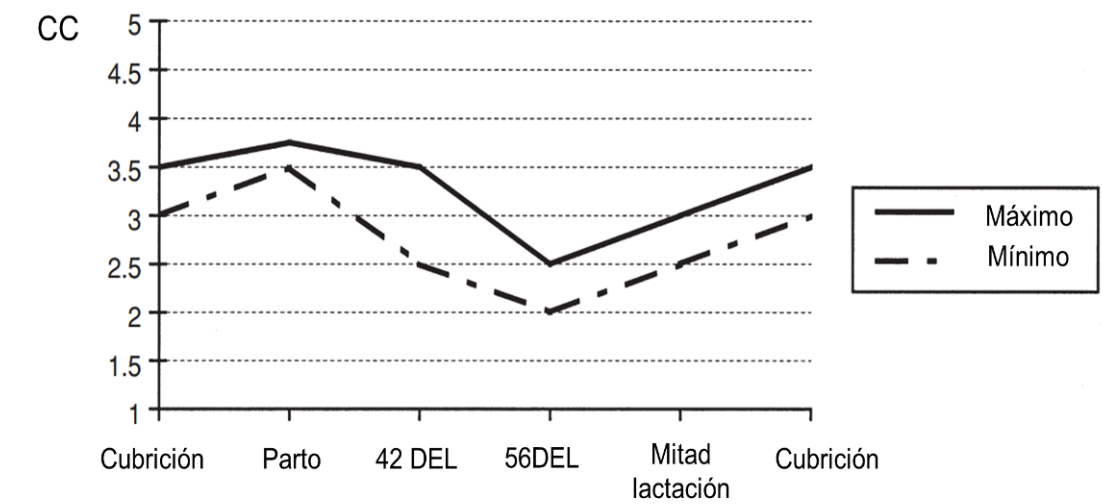


Figura 12. Objetivo de condición corporal (CC) a lo largo del ciclo productivo de las ovejas lecheras (Cannas, 2004b) en base a (INRA, 1988) DEL = días en leche

Además, las ovejas lecheras con balance energético negativo tienden a reducir la producción láctea aun en mayor medida que las vacas. Por ello, es especialmente importante que la oveja tenga suficientes reservas corporales al inicio de la lactación.

1.4.2.3. Manejo reproductivo

Edad al primer parto (EPP)

Las ovejas que tienen su primer parto más jóvenes, tienen una producción menor durante la primera lactación (Buxadé, 1996). Estos resultados se han descrito en distintas razas como la lacaune (Hernandez et al., 2011), latxa (Gabiña et al., 1993), y awassi (Gootwine y Pollott, 2000) así como en vacas lecheras (Haworth et al., 2008; Moore et al., 1991; Pirlo et al., 2000), con disminuciones de hasta un 20% en las corderas que tienen su primera lactación al año de vida frente a las de dos años, y de un 30% en relación a las de tres años (Buxadé, 1996).

De hecho, en el estudio de (Gabiña et al., 1993) en ovejas de raza latxa, las ovejas que iniciaban la lactación a los dos años producían un 60% más leche en su primera lactación que las que parían por primera vez al año de edad. Sin embargo, no hay que olvidar que las corderas que paren al año de vida presentan la ventaja de alcanzar producciones vitales acumuladas notablemente superiores a las cubiertas más tardíamente (Buxadé, 1996).

En el estudio previo llevado a cabo por nuestro grupo en ovejas de raza lacaune bajo condiciones intensivas de producción comprobamos cómo la edad óptima al primer parto se situaba entre 390 a 450 días de edad (de 13 a 15 meses). Mientras que las corderas que parían antes de los 390 días o después de los 450 días contaban con significativamente mayor probabilidad de presentar una menor producción acumulada a lo largo de su vida productiva y una mayor probabilidad de ser desechadas más precozmente (Hernandez et al., 2011).

De modo similar, en el estudio efectuado en la raza assaf bajo condiciones intensivas (Pollott y Gootwine, 2004), cada mes que se retrasaba la edad al primer parto de las corderas respecto de 10,2 meses, se incrementaba la producción en 3,7 l ($P<0,001$) y el tamaño de camada en 0,009 corderos ($P<0,05$). De modo que cubrir las corderas un año más tarde daba lugar a más leche (44,4 l) y más corderos (0,108) durante su primera lactación. De hecho, al igual que en nuestro trabajo, estas ovejas con mayor EPP también presentaban una menor producción en la segunda lactación que en la primera lactación ($P<0,05$).

Por otro lado, el estudio realizado en ovejas awasi mejorada bajo manejo intensivo probaba cómo la producción de la primera lactación aumentaba a mayor EPP hasta los 20 meses de edad en que se mantenía estable, pero siempre siendo menor la producción que la de la segunda lactación (Gootwine y Pollott, 2000).

Intervalo entre partos y efecto de la gestación

En las razas awassi y assaf los animales con mayor producción presentan un mayor intervalo parto – cubrición fecundante y por tanto un mayor intervalo entre partos (Eyal et al., 1978; Gootwine y Pollott, 2000; Kassem et al., 1989). Este hecho explicaría el largo intervalo entre partos en la raza awassi mejorada: 330 días con una producción de 506 l (Gootwine y Pollott, 2000).

La asociación entre la elevada producción y la baja fertilidad ha sido bien documentada en vacuno lechero (Butler y Smith, 1989) y se explica parcialmente por el efecto adverso que ejerce sobre la reproducción el balance energético negativo experimentado por las vacas de alta producción al inicio de la lactación (Chagas et al., 2007; Leroy et al., 2008; Walsh et al., 2011). Aunque estudios de revisión recientes, también ponen en duda este axioma y plantean que no sea un problema estrictamente del nivel productivo (Bello et al., 2012).

Por otro lado, se ha descrito cómo la concepción reduce la producción en razas ovinas de alta producción lechera como la awassi y sus cruces (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). Según el trabajo de (Pollott y Gootwine, 2004) el momento en que tiene lugar la concepción afecta negativamente a todos los parámetros de la curva con la excepción del máximo potencial secretor. De forma que una concepción temprana da lugar a lactaciones con menor persistencia, menor pico máximo de producción (ver figura 13) y menor tamaño de camada.

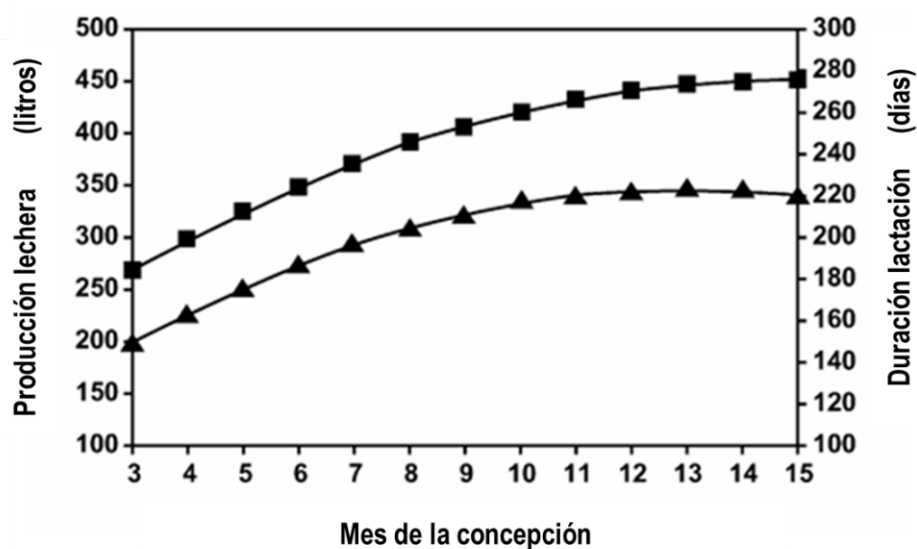


Figura 13. Producción total de la lactación ■ longitud de la lactación ▲ en relación al mes del parto en que tiene lugar la concepción (Pollott y Gootwine, 2004)

La concepción tiene un efecto a corto plazo con un incremento de la producción entre 1-2 semanas posconcepción, seguido de niveles similares a los preconcepción a las 4 semanas y posteriormente, una caída en la producción a medida que avanzaba la gestación (Pollott y Gootwine, 2004). Para evitar este efecto, en los países mediterráneos, las ovejas se suelen ordeñar de forma estacional durante 180 días de forma que no se solapen ordeño y gestación (Barillet et al., 2001).

Sin embargo, si queremos evitar la estacionalidad en la producción y maximizar la rentabilidad del rebaño es necesario que la gestación se solape para evitar largos periodos secos y una menor producción por oveja presente/ año entre otros. Por ello, en un estudio realizado en ovejas cruzadas con east friesland en Australia, manejadas para parir cada nueve meses, cubriéndose a los 120 días posparto, se evaluó el efecto de la gestación sobre la producción (Morrissey et al., 2008). Aunque a día 67 de gestación dicha gestación incrementaba significativamente la tasa de reducción de la producción ($12,9 \pm 0,6$ ml/d vs. $9,0 \pm 0,5$ ml/d, $P < 0,001$) y reducía el número de días en ordeño ($172 \pm 2,9$ vs. $181 \pm 2,6$ d, $P = 0,022$) no afectaba significativamente a la producción total de leche (246 ± 7 l vs. 259 ± 7 l, $P = 0,193$).

Longitud del periodo seco

En vacuno lechero, hay numerosos estudios sobre el efecto de la duración del periodo seco sobre la productividad, la salud y la fisiología del animal individual, así como la rentabilidad colectiva del rebaño (Bachman y Schairer, 2003; Bernier-Dodier et al., 2011; Grummer, 2007; Pinedo et al., 2011).

Por el contrario, es escaso el conocimiento acerca de la duración óptima del periodo seco en el ovino lechero, principalmente debido a que la mayor parte de los sistemas de producción ovinos son tradicionales y no incorporan un manejo intensivo de la reproducción, lo que implica largos periodos de amamantamiento del cordero en la primera fase de la lactación (Hernandez et al., 2011). De hecho, los principales estudios que han evaluado los factores que afectan a la producción láctea y a la curva de lactación no han incluido este factor (Oravcová et al., 2006; Peralta-Lailson et al., 2005; Ruiz et al., 2000).

En estudios previos de nuestro grupo, Hernandez et al. (2012), hemos evidenciado cómo, de forma similar a lo observado en vacuno lechero, periodos secos muy cortos (<30 d) o muy largos (>90d) afectan negativamente a la producción láctea de la oveja lacaune (Bachman y Schairer, 2003; Pinedo et al., 2011). Nuestro estudio evidenció cómo en la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción, la mayor producción (tanto PTL como a nivel de producción diaria) se asociaba a longitudes de periodo seco cortas en la misma lactación. Las ovejas con periodos secos de 30-90 días mostraron las mayores producciones en la siguiente lactación, mientras que las ovejas con los periodos más cortos (menor a 60 días) presentaban el mejor intervalo parto-concepción. En base a los resultados del estudio, concluimos que la duración óptima del periodo seco de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción son 30-60 días (Hernandez et al., 2012).

1.4.2.4. Recría de los corderos

Lactancia natural

Cuando se realiza la lactancia natural del cordero, hay dos factores principales que afectan a la curva: el número de corderos amamantados y el momento del destete.

- **Número de corderos amamantados**

Éste es uno de los factores que más afecta a la producción de leche de las ovejas que crían corderos. Las ovejas que amamantan a dos corderos presentan una producción mayor que las que amamantan uno debido a que en estas últimas, al no producirse un vaciado completo de la ubre, se inhibe el proceso de síntesis de leche. Además, las ovejas que crían a más de un cordero alcanzan un máximo de producción mayor y más precoz (2-3ª semana) que las de cría única (4ª semana), así como una mayor persistencia de la curva (Buxadé, 1996).

El efecto del número de corderos sobre la producción refleja el estímulo del cordero o corderos durante la fase de amamantamiento, que probablemente dependa del potencial productivo de la raza y de la longitud de la lactación (Gabiña et al., 1993). En los trabajos en la raza latxa (Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000) con los corderos amamantados durante el primer mes de vida, las ovejas con dos o más corderos nacidos vivos incrementaron significativamente la producción respecto a las que parieron uno o ninguno

vivo. Este aumento se evidenció en el estudio de Ruiz et al. (2000) donde la producción fue de $195,4 \pm 3,07$, $178,4 \pm 1,26$ y $170,4 \pm 5,26$ litros, respectivamente, para las ovejas con dos, uno o ningún cordero nacido vivo.

- **Destete**

El destete produce un descenso de la producción como consecuencia del estrés por separación y la escasa adaptación de la oveja a la máquina de ordeño. Se ha observado un periodo crítico del vínculo entre el cordero y su madre de seis horas de duración por encima del cual la retirada de la cría causa estrés.

Con el fin de evitar este descenso de producción se han desarrollado distintos tipos de destete: desde la separación al nacimiento y lactancia artificial, hasta el destete precoz o tardío y ordeño posterior, pasando por varios grados de simultaneidad entre cría y ordeño (Buxadé, 1996).

Lactancia artificial

La retirada del cordero de la oveja para su lactancia artificial y el ordeño exclusivo de la oveja parece tener un efecto negativo sobre la producción de leche, debido, fundamentalmente, a la incapacidad del ordeñador o la máquina de ordeño de conseguir un vaciado completo de la ubre. El efecto ha sido explicado como consecuencia de la diferente frecuencia de vaciado de la ubre entre la cría (numerosos ordeños diarios) y el ordeño (dos ordeños diarios) (Buxadé, 1996). Sin embargo, es la forma en que podremos obtener el mayor volumen de leche ordeñada y vendida en la explotación, por lo que es una práctica habitual en el vacuno lechero que también se practica en las explotaciones intensivas de ovino lechero.

1.4.2.5. El ordeño

Esta práctica presenta una especial importancia en todas las especies de mamíferos ya que la extracción de leche es necesaria para el mantenimiento de la lactación (Buxadé, 1996). Debemos tener en cuenta diversos aspectos del ordeño que pueden influenciar sobre la producción y la curva de lactación:

El método de ordeño

La sustitución del ordeño manual por el mecánico ha permitido la intensificación de los sistemas de producción. Mientras que el ordeño manual permite ordeñar unas 50 ovejas/persona/hora, el ordeño mecánico permite ordeñar entre 100 a 350 ovejas/persona/hora según el tipo de instalación (Buxadé, 1996).

La máquina de ordeño

La influencia de este factor está determinada por un conjunto de parámetros fundamentales: nivel de vacío, relación de pulsación (masaje-succión), velocidad de pulsación, características de la pezonera (silicona o caucho) y su sustitución periódica, capacidad de los colectores y altura de la línea de la leche (preferentemente línea baja). Además de las características de la máquina de ordeño, es fundamental su correcto mantenimiento y la revisión periódica de la misma para asegurar su correcto funcionamiento (frecuencia mínima anual) y evitar problemas asociados a un mal funcionamiento de la misma (Contreras et al., 2007).

Rutina de ordeño

En la rutina de ordeño se incluyen tres periodos fundamentales (antes, durante y después del ordeño) dentro de los cuales deberemos considerar diferentes aspectos de relevancia de cara a optimizar la extracción de leche de la ubre y minimizar la prevalencia de infecciones intramamarias (para más información ver apartado 1.4.2.7.).

- **Antes del ordeño.** La rutina de ordeño comienza antes del propio ordeño en sí mismo a fin de que los animales lleguen a la sala en las mejores condiciones. Así se incluyen en esta fase prácticas como el correcto manejo de la cama en que se alojan los animales a fin de mantener las ubres limpias (Cambero Muñoz, 1999), el orden de ordeño en sentido inverso al riesgo de infección para reducir el riesgo de transmisión de infecciones intramamarias (Bergonier *et al.*, 2003; Contreras *et al.*, 2007) o la revisión del vacuómetro de la instalación para comprobar que el vacío de ordeño es el adecuado para lograr un ordeño adecuado (Cambero Muñoz, 1999).
- **Durante el ordeño.** Con el fin de simplificar la rutina de ordeño sin perjudicar la cantidad de leche producida la rutina inicial recomendada consiste en la colocación de pezoneras- ordeño a máquina- retirada de pezoneras. Además, debe evitarse el sobreordeño pre y postordeño evitando la retirada de pezoneras sin corte previo del vacío cuando la retirada se realiza de forma manual (Cambero Muñoz, 1999; Contreras *et al.*, 2007).
- **Después del ordeño.** El uso de baño de pezones postordeño ha demostrado ser una herramienta preventiva eficaz que permite reducir la incidencia de nuevas infecciones intramamarias, especialmente en el control de los patógenos del género *Staphylococcus* y Coagulasa Negativos (SCN) (Bergonier *et al.*, 2003; Contreras *et al.*, 2007). Tras finalizar el ordeño debe llevarse a cabo un correcto lavado y desinfección de la instalación (Cambero Muñoz, 1999).

El intervalo entre ordeños

El vaciado de la ubre provoca un efecto positivo sobre la síntesis de leche en el ovino, caprino y vacuno (Stelwagen, 2001). De forma que aumentando la frecuencia de ordeño aumentamos la producción. En el ganado vacuno, son numerosos los estudios a este respecto, sin embargo, en ovino, contamos con escasos trabajos sobre el efecto de incrementar el número de ordeños (ver tabla 19). Si bien, Gargouri et al. (1993) no observaron aumentos significativos al realizar tres ordeños, Labussière et al. (1974) y Negrão et al. (2001) demostraron que realizando tres ordeños diarios, al inicio y mitad de la lactación, se podía incrementar la producción de leche entre el 12 y el 35%. En el mismo estudio Negrão et al. (2001) evaluaron el efecto de ordeñar cuatro, cinco y siete veces al día, pero los incrementos de producción no fueron significativamente diferentes al obtenido al incrementar la frecuencia de ordeño a tres diarios.

Tabla 19. Efecto del incremento de la frecuencia de ordeño sobre la producción de leche en ovino. El incremento aparece expresado como porcentaje respecto a dos ordeños diarios

| Raza | Frec Ordeño | Ganancia (%) | Fase lactación | Referencia |
|-----------------|----------------|--------------|-------------------|-------------------------|
| Manchega | 3x | 13 | Inicio | Gargouri et al., 1993 |
| Lacaune | 3x | 34,5* | Inicio | Negrão et al., 2001 |
| Prealpes du Sud | 3x | 15-26* | Inicio/mital | Labussière et al., 1974 |
| Lacaune | 4x | 37 | Inicio | Negrão et al., 2001 |
| Lacaune | 5x | 25,8 | Inicio | Negrão et al., 2001 |
| Lacaune | 7x | 37,9 | Inicio | Negrão et al., 2001 |

* Presencia de diferencias significativas ($P<0,05$)

Supresión eventual o sistemática de uno o varios ordeños

La reducción de la frecuencia de ordeño puede ser una estrategia bajo determinadas circunstancias, como mejorar la calidad de vida del ganadero al final de la lactación. Sin embargo, la reducción de la frecuencia de ordeño produce siempre una disminución de la producción que puede oscilar entre el 11 y el 48% (tabla 20). La magnitud del efecto varía según la raza, la duración experimental, la fase de lactación y diferencias individuales (Knight et al., 1993; Knight y Gosling, 1995; Labussière et al., 1974; Negrão et al., 2001; Nudda et al., 2002; Papachristoforou et al., 1982).

Con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ganaderos, especialmente la de aquéllos con explotaciones pequeñas de tipo familiar, se han hecho diversos estudios para evaluar el efecto de suprimir uno o dos ordeños semanales sobre el rendimiento productivo de los animales. A este respecto los trabajos iniciales señalaron que suprimir un ordeño semanal (domingo tarde) y por tanto, aplicar un intervalo de ordeño de 24 horas una vez por semana, producía pérdidas de producción de entre el 13-

26% (Casu y Labussière, 1972; Labussière et al., 1974). Sin embargo, estudios más recientes realizados en diferentes razas (Hervás et al., 2006; Huidobro, 1988; Knight y Gosling, 1995), no han observado pérdidas productivas significativas al suprimir el ordeño del domingo por la tarde (tabla 20).

Tabla 20. Pérdida de producción de leche al reducir de dos a uno el número de ordeños diarios

| Raza | Fase lactación | % de pérdida de producción | Referencia |
|-----------------|----------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Dorset | Toda | 48 | Knight <i>et al.</i> , 1993 |
| Prealpes du Sud | Inicio | 30 | Labussière <i>et al.</i> , 1974 |
| Chios | Inicio | 22 | Papachristoforou <i>et al.</i> , 1982 |
| Lacaune | Inicio | 15 | Negrão <i>et al.</i> , 2001 |
| Manchega | Inicio-mitad | 36,6 | Castillo <i>et al.</i> , 2009 |
| Lacaune | Inicio-mital | 10,5 | Castillo <i>et al.</i> , 2009 |
| Sarda | Mitad | 24 | Nudda <i>et al.</i> , 2002 |
| Awassi | Mitad | 18 | Nudda <i>et al.</i> , 2002 |
| Poll dorset | Mitad-final | 20 | Knight y Gosling, 1995 |

La supresión de dos ordeños semanales también ha sido estudiada (ver tabla 21). En este caso, las pérdidas productivas fueron del 10% para las ovejas de raza assaf española (supresión del ordeño las tardes del sábado y domingo) (Hervás et al., 2006) y del 24% para las de raza Sarda (supresión de los dos ordeños del domingo) (Casu y Labussière, 1972).

Tabla 21. Pérdida de producción de leche asociada a la supresión de uno o dos ordeños semanales

| Raza | Fase lactación | Nº ordeños suprimidos | % de pérdida de producción | Referencia |
|-----------------|----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Sarda | Inicio | 1 | 13 | Casu y Labussière, 1972 |
| Préalpes du sud | Inicio | 1 | 26 | Labussière <i>et al.</i> , 1974 |
| Manchega | Inicio | 1 | 7 | Huidobro, 1988 |
| Poll dorset | Inicio | 1 | 7 | Knight y Gosling, 1995 |
| Assaf española | Inicio | 1 | 0 | Hervás <i>et al.</i> , 2006 |
| Sarda | Inicio | 2 | 24 | Casu y Labussière, 1972 |
| Assaf española | Inicio | 2 | 10 | Hervás <i>et al.</i> , 2006 |

Por otro lado, en el estudio llevado a cabo por Castillo López (2008) y Castillo et al. (2009) sobre el efecto a largo plazo de la supresión de dos ordeños (tardes del sábado y domingo) en las razas manchega y

lacaune, evidenciaron cómo, si bien descendía la producción durante el fin de semana (24% en las ovejas manchegas y 18% en las lacaune), éstas sufrían un incremento de producción al recuperar durante la semana la pauta habitual de dos ordeños (del 20% en las manchegas y 27% en las lacaune) que compensaba parcialmente las pérdidas en las manchegas y totalmente en las lacaune.

1.4.2.6. Características del alojamiento

En las ovejas estabuladas, especialmente bajo condiciones intensivas (estabulación permanente), las características del alojamiento juegan un papel relevante sobre el bienestar animal y consecuentemente sobre la productividad. Cabe destacar la importancia del diseño de las instalaciones (especialmente la densidad de animales y el volumen de aire disponible) y el correcto mantenimiento higiénico de las mismas. Ya en 1983 (Loynes, 1983) sugirió un espacio mínimo por animal de 60 kg P.V. de 0,7m² en cama caliente y 1m² en otros tipos de suelo; aumentando un 30% la necesidad de espacio en ovejas de 60-90 kg P.V. y otro 30% en ovejas amamantando corderos. El efecto de la densidad y volumen de aire disponible en el ovino lechero son factores relevantes según el estudio de (Sevi et al., 1999) en que evidenciaron un incremento significativo de la producción láctea y del contenido en proteína, caseína y grasa de la leche en las ovejas alojadas en menor densidad (2m²/oveja) vs. las que disponían de 1 o 1,5m²/oveja. Además, el mayor volumen de aire disponible redujo el RCS y la presencia de mastitis subclínicas (las ovejas con 2m²/oveja presentaron entre 3-4 veces menor RCS y menores recuentos bacteriológicos), lo que a su vez incrementa la producción láctea. En un segundo trabajo, evaluaron la disponibilidad de aire comparando grupos con 4,1, 5,6 y 7,3 m³ de aire/oveja; evidenciando cómo las ovejas con la menor disponibilidad de aire tenían la peor composición de la leche.

1.4.2.7. Estado sanitario

Las distintas patologías causantes de alteración de la salud de las ovejas afectan negativamente a la producción de las mismas. Entre las principales causas que disminuyen la producción a nivel de rebaño podemos destacar: las infecciones intramamarias, las cojeras y las parasitosis.

Infecciones intramamarias

La salud de la ubre es un factor relevante que ejerce gran influencia sobre la producción. Sin embargo, definir el estado de la ubre no es tarea fácil. Se ha evaluado la presencia de mamitis subclínica a través del Recuento de Células Somáticas (RCS, medido como el recuento de la concentración celular en la leche ordeñada) de modo similar a como se hace en el vacuno lechero, evidenciándose una disminución en la producción de leche paralelo al incremento del RCS (Leitner et al., 2008). En el caso del ovino, existe cierta controversia a la hora de definir la ubre sana. En general, se manejan cifras de entre 0,3 y 1,5 millones de cels/ml como el máximo admitido en una ubre sana, dado que el RCS parece variar en base a la raza, fase de lactación, manejo y edad. De hecho, mientras que en el estudio llevado a cabo en

assaf en Israel, el RCS de la ubre sana era $<4 \times 10^5$ cels/ml, en el estudio llevado a cabo en diferentes razas en España (assaf, churra y castellana) se estableció un límite en 3×10^5 cels/ml, estableciendo diferencias entre las distintas razas (González-Rodríguez *et al.*, 1995; Buxadé, 1996; Leitner *et al.*, 2003). Según Leitner *et al.* (2008), el principal problema a la hora de determinar el límite de RCS de la ubre sana en el ovino y caprino, a diferencia del vacuno (en el que está claramente definido un valor de RCS de 3×10^5 cels/ml para identificar la presencia de infección), se encuentra en que la infección intramamaria, al contar con sólo dos glándulas, da lugar a un menor efecto dilución y de ahí el mayor RCS, tanto a nivel individual como de rebaño. Según el trabajo de Leitner *et al.* (2008) un nivel de infección menor al 25%, (considerado, en general, una explotación de leche de buena calidad), supondría un RCS de unas 800.000 cels/ml en el tanque, con una merma de producción del 4,1%; Por otro lado, una tasa de infección intramamaria del 25-50%, (considerado una explotación de leche de calidad intermedia), daría un RCS de tanque de 1.400.000 cels/ml y una reducción de la producción del 8,2%. Por último, un porcentaje de infección superior al 50% daría lugar a un RCS de tanque de 2.000.000 cels/ml y una reducción de la producción del 12,2%. El consumo de leche de tanque con RCS superiores a 3.500.000 cels/ml no está recomendado.

Gonzalo *et al.* (2005) estudiaron el efecto de distintas medidas encaminadas al control de la mastitis sobre el RCS del tanque, observando cómo la implantación de terapia de secado y el ordeño mecanizado reducían significativamente el RCS, mientras que reducir el nivel de vacío e incrementar la frecuencia de pulsación optimizaba el RCS del tanque. Por todo ello, proponen como principal herramienta para reducir el RCS del tanque la instauración de terapia de secado. Además, recomiendan la optimización del ordeño y de la máquina de ordeño para mejorar la salud de la ubre en el ovino (ver punto 1.4.2.5.).

De hecho, en el estudio de Gonzalo *et al.* (2004) en que compararon el secado en masa (CST, secado de todos los cuarterones), frente al secado selectivo (SST, secado sólo de los cuarterones infectados en base a los resultados del cultivo microbiológico) y la ausencia de secado (AS) en ovejas de raza churra, la producción en la siguiente lactación fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en los lotes con tratamiento antibiótico de secado con una producción media un 6,9% superior ($139,0 \pm 2,19$ l/120 d en CST y $143,5 \pm 2,22$ l/120d en SST; versus $132,1 \pm 2,47$ l/120d en AS); si bien no hubo diferencias significativas entre ambos tipos de tratamiento de secado.

Más recientemente, el estudio llevado a cabo por nuestro grupo para evaluar la terapia de secado intramamaria con una cefalosporina en masa en la explotación objeto del presente estudio (Hernandez *et al.*, 2014) puso de manifiesto cómo el tratamiento mejoró de forma significativa ($P < 0,0001$) la producción diaria durante la siguiente lactación ($2.492 \pm 608,84$ vs $2.682 \pm 690,54$ mL en los grupos control y tratado, respectivamente) y la calidad de la leche producida, principalmente debido a la reducción del RCS ($1.022,24 \pm 2126,22$ vs $573,68 \pm 1326,78$ cels/ml $\times 10^3$ en los grupos control y tratado, respectivamente).

Respecto a la etiología, a diferencia de lo que ocurre en el ganado vacuno, los principales agentes implicados en la mastitis subclínica en el ovino son gérmenes del género *Staphylococcus* y Coagulasa Negativos (SCN), principalmente *S. chromogenes* y *S. epidermidis* (Bergonier *et al.*, 2003). Según diversos estudios éstos incrementarían el RCS por encima de $1,2 \times 10^6$ cels/ml (González-Rodríguez *et al.*, 1995; Las Heras *et al.*, 1999; Leitner *et al.*, 2003). En el estudio realizado por Leitner *et al.* (2004) evaluaron el efecto de la infección subclínica de la glándula mamaria por SCN sobre la producción y composición de la leche en 36 granjas israelitas de ovejas assaf. La producción de los cuarterones infectados (0,36 kg/ordeño) resultó significativamente menor $P < 0,0001$ que en los cuarterones sanos (0,76 kg/ordeño). Además, la concentración de los componentes de la leche fue significativamente menor que en los sanos: grasa ($61,7 \pm 0,21$ vs. $64,9 \pm 0,26$ g/l), proteína ($53,5 \pm 0,11$ vs. $58,5 \pm 0,07$ g/l), lactosa ($33,5 \pm 0,16$ vs. $44,7 \pm 0,08$ g/l) y caseína ($40,5 \pm 1,59$ vs. $45,9 \pm 1,36$ g/l). También en el estudio de Gonzalo *et al.* (2002) éstos cuantificaron las pérdidas de producción asociadas a la mastitis subclínica en ovejas de raza churra entre el 2,6 y el 10,1% según el tipo de patógeno mamario implicado, así como el carácter unilateral o bilateral de la infección. De modo que las ovejas no infectadas o infectadas por patógenos menores tuvieron los menores RCS y obtuvieron las mayores producciones; mientras que las infectadas por patógenos mayores tuvieron mayores RCS y menores producciones (entre un 8,8 – 10,1% menor producción láctea según el carácter unilateral o bilateral de la infección).

Cojeras

La presencia de cojera es un signo clínico asociado a diferentes causas que pueden clasificarse en genéticas, lesiones físicas e infecciosas. Las cojeras se consideran uno de los principales problemas sanitarios del ganado ovino, asociándose a pérdida de peso, fallo reproductivo y menor producción (DEFRA, 2011; Gelasakis *et al.*, 2010). En el estudio llevado a cabo en ovejas chios (Gelasakis *et al.*, 2010), las ovejas con cojera produjeron significativamente menos leche (11,3% menos a nivel de rebaño) que las que no presentaban cojera (65 kg menos por oveja y lactación estandarizada a 210 días); relación ampliamente estudiada en el vacuno lechero (Archer *et al.*, 2010; Onyiro *et al.*, 2008; Reader *et al.*, 2011).

Endoparasitosis

La presencia de endoparásitos se ve favorecida por el pastoreo natural, si bien los diferentes agentes etiológicos son raramente mortales, éstos provocan una considerable reducción de la eficiencia del alimento con la consecuente reducción de la productividad al reducir el crecimiento, la producción láctea y la formación de lana (Sevi *et al.*, 2009). Por ello, los parásitos gastrointestinales son responsables de importantes pérdidas en el ganado ovino (Fthenakis *et al.*, 2012). Entre los endoparásitos cabe destacar la relevancia de los nematodos gastrointestinales (causadas por diferentes géneros de nematodos como *Teladorsagia*, *Haemonchus*, *Bunostomum*, *Cooperia*, *Nematodirus*, *Trichostrongylus*, *Chabertia* o *Oesophagostomum*). La presencia de éstos induce un descenso del apetito, la digestibilidad del alimento

y pérdidas económicas asociadas principalmente al descenso de la producción y costes asociados a los tratamientos. De hecho, varios estudios ponen en evidencia el impacto de los tratamientos antihelmínticos sobre la producción lechera de las ovejas (Gringoli et al., 2009).

En el estudio de Juste Jordan y García Pérez (1991), la desparasitación con netobimin de las ovejas 15 días antes y después del parto incrementa la producción de leche estandarizada a 120 días un 8,9%; incrementándose en un 8,8% y un 6,3% en el segundo y tercer mes posparto, respectivamente, con respecto al grupo no tratado.

Por otro lado, Gringoli et al. (2007) evaluaron distintas pautas de desparasitación en seis explotaciones lecheras ovinas, siendo las producciones medias diarias superiores en los grupos tratados que en el control. Sin embargo, había diferencias importantes entre las 6 granjas, en cuanto al aumento de producción: 18,9% (granja 1), 30,4% (granja 2), 4,0% (granja 3), 37,0% (granja 4), 5,5% (granja 5) y 40,8% (granja 6). Los resultados del estudio mostraron que la eficacia económica de un tratamiento antihelmíntico no es un problema de causa-efecto, sino un problema multifactorial que depende del estado parasitológico tanto cualitativo como cuantitativo de la explotación, las especies de parásitos, la virulencia de las cepas, la epidemiología, el momento del tratamiento, la raza y el tipo de producción.

1.5. ANÁLISIS DE TIPOLOGÍAS

El presente trabajo implementa un análisis de tipologías, en general, poco difundido en el ámbito veterinario y en concreto en el de la producción animal, por lo que haremos una breve referencia a los principios básicos.

Los métodos de análisis multivariante de datos son un conjunto de herramientas estadísticas cuya finalidad es analizar simultáneamente el comportamiento de tres o más variables medidas para cada individuo u objeto estudiado que logran un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio, obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir. Estos métodos se usan principalmente para buscar las variables menos representativas para poder eliminarlas, simplificando así modelos estadísticos, y para comprender la relación entre varios grupos de variables. Estos métodos han probado su eficacia en el estudio de grandes masas de información compleja. Se trata de los métodos llamados multidimensionales, por oposición a los métodos de estadística descriptiva que tratan únicamente una o dos variables (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011).

En la actualidad, los métodos factoriales se enmarcan en las técnicas de *Data Mining* (o minería de datos). Éstos permiten confrontar numerosas informaciones, lo cual es más completo y enriquecedor que la realización de análisis separados. Las representaciones simplificadas de grandes tablas de datos suponen un instrumento de síntesis muy importante, debido a su capacidad para reducir la dimensionalidad. Permiten extraer las tendencias más destacadas, jerarquizarlas y eliminar los efectos marginales o puntuales que perturban la percepción global de los hechos recogidos en los datos. El desarrollo de algoritmos de clasificación resulta ser, en muchas ocasiones, un complemento ideal a los métodos factoriales y permiten describir tipologías de individuos según las variables en estudio (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011).

En definitiva, se trata de una metodología óptima para analizar múltiples factores y datos a la vez en grupos de individuos semejantes entre sí. Este tipo de análisis está muy difundido en estudios de consumidores, detectando las tipologías de personas, por ejemplo, que consumen una u otra marca de algo. Una vez diferenciados los cluster o tipologías por este comportamiento, se analiza si hay algo que les diferencie de otros grupos y que tengan en común. Por ejemplo, puede detectarse que los que consumen la marca A son predominantemente adolescentes, y los de la marca B tienen predominantemente hijos pequeños... y con ello identificar características que según el ámbito de estudio te ayuden a tomar decisiones (en este ejemplo a orientar publicidad, ubicar tiendas, etc.).

1.5.1. Método de determinación de tipologías

El software SPAD (Système Portable pour l'Analyse de Données), permite implementar una estrategia de análisis adecuada al tratamiento exploratorio multivariante de grandes tablas de datos mediante la combinación de técnicas divisivas y aglomerativas (Hartigan, 1975). Su concepción es original y adaptada para un proceso natural de aprendizaje a partir de los datos (*data learning*) (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011). La clasificación en SPAD se realiza a partir de las coordenadas de los ejes factoriales. Se suele utilizar el subconjunto de los primeros k ejes factoriales tales que proyecten en conjunto un mínimo del 80% de la inercial original. Este procedimiento se realiza aplicando dos algoritmos matemáticos sobre los datos: algoritmo de clasificación jerárquica, con el objetivo de escoger en cuántas clases o tipologías deben clasificarse los individuos y el algoritmo de centros móviles, con el objetivo de mejorar la clasificación (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011). De forma que las tipologías o clases se conforman de modo que los elementos dentro de cada grupo sean lo más homogéneos posibles y que, en cambio, los elementos de las diferentes tipologías sean lo más diferentes posibles. La distancia observada, con el objeto de discriminar tipologías, es la distancia euclídea al cuadrado. El criterio de agregación es el de mínima varianza de Ward que posee la particularidad de tener en cuenta, junto con las distancias, el tamaño de los grupos que se fusionan en cada nivel, de tal forma que se minimiza una función objetivo basada en la descomposición de la varianza dentro/entre. Se minimiza el incremento de la varianza producida por la fusión de dos clases (Spad, 2003).

En la clasificación jerárquica se construye un "árbol", cuyas ramas terminales representan a cada uno de los individuos y el vértice es la clase conformada por todos los individuos. Un árbol representa una serie de particiones embebidas, en donde el número de clases decrece a medida que se aumenta la altura del árbol. Para obtener alguna clasificación particular se hace "un corte" en el árbol. El número de clases de la tipología queda por tanto definida al cortar el árbol jerárquico que muestra el proceso de agregación. El corte de interés se deduce por el proceso de agregación que describe el árbol jerárquico y observando el histograma de los índices de agregación. Un salto importante en los índices indica que los dos grupos que se unen en ese momento están muy separados (Spad, 2003).

Seleccionada la partición por corte del árbol jerárquico se procede a una consolidación. Esta consiste en asignar cada caso al centro de clase más próximo. La reasignación se realiza iterativamente hasta que no hay cambios de clase, por el método de las k -medias, tomando como partición inicial la obtenida por corte del árbol de agregación. La reasignación se realiza iterativamente hasta que no hay cambios de clase (Spad, 2003).

1.5.2. Descripción de las clases o tipologías

Una vez determinadas las clases definitivas se procede a su descripción en función de las variables del estudio. *A posteriori* observamos todas las variables de interés. Dado que estas variables no han intervenido en la obtención de las clases, ni se ha presupuesto ni forzado ningún modelo previo, las relaciones obtenidas son más reales, seguras, consistentes y convincentes que mediante otras metodologías de análisis (Hartigan, 1975; Lebart et al., 1995).

La descripción consiste en caracterizar cada clase por las variables que presentan valores medios en la misma superiores (o inferiores) a los valores medios en el conjunto total de los casos. Se calculan estadísticos que miden esta diferencia y se transforman en valores test, comparables con los valores de una distribución $N(0,1)$. De esta manera se obtiene para cada clase una ordenación de las variables estadísticamente significativas en la clase (Lebart et al., 1995; Spad, 2003).

La caracterización de un tipo o clase C_k consiste en la comparación *a posteriori* de los valores de las variables observados en los $n_{\cdot k}$ casos de la clase fijada respecto a los valores de la variable en el conjunto total de n casos de la población objeto de estudio.

La comparación se realiza entre la media dentro de la clase y la media total siguiendo el proceso estadístico siguiente (Lebart et al., 1995).

Sea \bar{V}_j la media de la variable V_j calculada sobre el conjunto total de n casos y sea s_j^2 la varianza correspondiente.

Sea \bar{V}_k la media en las $n_{\cdot k}$ casos de la clase que se caracteriza.

Bajo la hipótesis nula de que los $n_{\cdot k}$ casos fueron colocados al azar en la clase C_k , extrayendo sin reemplazamiento entre los n casos posibles, se calcula la esperanza y varianza de \bar{V}_k :

$$E(\bar{V}_k) = \bar{V}_j \quad , \quad Var(\bar{V}_k) = \frac{n - n_{\cdot k}}{n - 1} \frac{s_j^2}{n_{\cdot k}} = s_k^2$$

Entonces si n y $n_{\cdot k}$ no son demasiado pequeños la expresión

$$t_k(j) = \frac{\bar{V}_k - \bar{V}_j}{s_k}$$

sigue aproximadamente una distribución Normal $N(0,1)$.

Si para una variable no se rechaza la hipótesis nula será una variable sin interés para la clase C_k puesto que sus valores no se diferencian de un conjunto de n_k valores extraídos al azar entre la muestra total.

El método calcula un estadístico por comparación llamado valor T, este valor es comparado con una distribución normal $N(0,1)$ para determinar el nivel de significación de la diferencia entre la media del cluster y la media global. En caso de variables categóricas, el método funciona de forma similar caracterizando las tipologías según la distribución de frecuencias de los valores de las variables categóricas que son mayores o menores que la frecuencia global. El nivel de significación de la diferencia entre el porcentaje en la tipología y el global se evalúa por comparación del valor T con una distribución normal $N(0,1)$. Dado el gran tamaño muestral del presente estudio, el nivel de significación se definió como $P < 0,001$, al objeto de mejorar la robustez del análisis.

1.5.3. Aplicaciones del análisis de tipologías

Estos métodos nacidos en el ámbito universitario y de investigación matemática se han aplicado a todo tipo de dominios científicos como la ecología, la lingüística, la psicometría, el análisis de mercados, la arqueología, etc. También han experimentado un gran éxito en ramas de la banca y seguros donde deben analizarse grandes ficheros de datos (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011).

Sin embargo, hasta nuestro conocimiento sólo se ha aplicado al estudio de curvas de lactación en dos trabajos llevados a cabo en vacas lecheras holstein, en uno para analizar los tipos de curva durante el primer tercio de lactación (Cardenas, 2009) y en otro para determinar los factores que diferencian los animales con curvas más productivas de los de menos en 404 vacas (Astiz et al., 2014).

En el primer estudio se efectuó un análisis de *clusters* jerárquico del primer tercio de la curva de lactación (cinco columnas con los primeros cinco controles mensuales) de vacas lecheras de la región de Araucaria. El análisis se realizó mediante el algoritmo de Ward. El estudio dio lugar a cuatro grupos o *clusters* productivos de vacas lecheras que presentaban diferente tipología de producción (forma de la curva) y nivel de producción lechero. Los tres primeros grupos (79% de las lactaciones) presentaban una curva siguiendo los patrones de producción normal, en términos de semejanza con la curva de Wood, pero con tres niveles productivos diferentes; mientras que un cuarto grupo (21% de las lactaciones) presentaba un patrón de producción atípico con curvas de muy alta producción pero de perfil irregular. Finalmente, concluyeron que las lactaciones que se iniciaban con altas producciones (> 20 kg/leche/día a día 8 de lactación) podían hacer prever un patrón irregular y generalmente atípico; mientras que las que se iniciaban por debajo de los 18 kg/leche/día presentarían una curva normal (Cardenas, 2009).

En el segundo estudio, Astiz et al. (2014) estudiaron en detalle los patrones de crecimiento y productividad de 404 vacas holstein de alta producción desde el nacimiento de los animales hasta completar dos lactaciones, considerando manejo, condiciones ambientales y la influencia individual de los

progenitores. El análisis de tipologías identificó cuatro "tipos" de curvas de lactación de vacas según su productividad: de alta producción (AP), de alta producción persistentes (APP), que eran el 33% de los animales estudiados; de producción media (PM; 41%) y de baja producción (BP; 26 %). A continuación, analizaron las características de cada grupo de vacas que dieron lugar a estas curvas, con el fin de identificar los posibles factores determinantes del comportamiento productivo. De los más de 15 factores ambientales y de desarrollo estudiados, ninguno de ellos resultó determinante de la productividad, ni siquiera el peso al nacer, el nivel de transferencia de inmunidad pasiva, la tasa de crecimiento, la edad al primer parto ni la eficiencia reproductiva. Sorprendentemente, el factor más significativo resultó ser el número de parto de la madre, es decir, la edad de la madre. Las vacas de tipo de curva AP nacieron de las madres más jóvenes ($1,89 \pm 1,14$ partos), mientras que las BP nacieron a partir de la más viejas ($2,72 \pm 1,80$ partos, $P < 0,001$). Además, se detectó una correlación significativa entre los parámetros metabólicos (producción, grasa y proteína producidas) de la primera y segunda lactación, lo que sugiere la influencia de la individualidad de la vaca en sí (quizás, su genética). El análisis de cluster se realizó de nuevo sin las hijas de novillas, con el fin de controlar el efecto del desgaste metabólico durante la gestación y los resultados fueron similares. Estos resultados sugieren que en condiciones de buen manejo, salud óptima y condiciones ambientales controladas como fue las de la granja en donde se efectuó este estudio, la edad y/o el número de lactación de la madre es uno de los mayores determinantes de la productividad de las vacas, conclusión que puede ser de ayuda a la hora de optimizar la gestión de las granjas de vacuno lechero de alto rendimiento.

JUSTIFICACIÓN

2. JUSTIFICACIÓN.

La raza ovina lechera lacaune, originaria de Francia a partir de la fusión de diferentes razas locales, es la responsable de producir la leche que se utiliza para la elaboración del queso Roquefort. Esta raza sometida a un riguroso esquema de selección genética desde hace más de 30 años se ha convertido en una de las razas ovinas lecheras de mayor rendimiento del mundo, con un promedio de producción de leche diaria de 1,59 l y una producción acumulada de 283 l en lactaciones medias de 160 días (Barillet et al., 2001). Sin embargo, debemos tener en cuenta que esta producción no incluye el periodo de amamantamiento del cordero, fase obligada por la reglamentación de la D.O.P. Roquefort (AGRP0001838D, 2001), por lo que la lactación completa podría estimarse entorno a los 350 l (Barillet et al., 2001).

Desde 1992, 17 países han importado de Francia genética de la raza lacaune a través de la asociación oficial de criadores de ovino de la raza lacaune. No obstante, dado que las explotaciones que se encuentran fuera de la D.O.P. Roquefort, no cuentan con el posible mayor precio de la leche ni con las limitaciones asociadas a la normativa de la misma; para estos productores, los sistemas de producción y manejo intensivo permiten explotar plenamente el potencial productivo de los animales y aumentar la rentabilidad de la explotación.

Sin embargo, la información sobre la producción de las ovejas de raza lacaune bajo manejo intensivo es escasa. Si bien sí disponemos de algunos datos preliminares respecto a la producción media de esta raza en España, apenas contamos con información referente a la curva de lactación y los factores que afectan a dicha curva. Así, nuestro grupo ha observado producciones medias de 448 l en lactaciones de 238 días bajo condiciones intensivas de manejo (Hernández *et al.*, 2011); la cooperativa COVAP ha descrito producciones medias de 405 litros por lactación con lactaciones medias de 175 días de duración (Gil et al., 2003); y los primeros resultados publicados por AESLA han calculado una media de 304 kg de leche por lactación estandarizada a 160 días de ordeño (Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011).

La curva de lactación es un proceso biológico que puede explicarse por medio de una función matemática. El ajuste de esta curva mediante modelos matemáticos ha venido a solventar el problema ya tradicional de la falta de muestreos continuos, diarios e individuales de la producción láctea de los animales. Mediante un apropiado ajuste matemático de la curva de lactación podemos estimar la producción total, lo que tiene una utilidad primera, muy importante, que es la de poder predecir producciones futuras a partir de muestras parciales, o de lactaciones ya en curso. Igualmente, se pueden identificar los animales con mayor potencial productivo (Morant y Gnanasakthy, 1989). Además, estos

modelos proporcionan una valiosa información a la hora de la toma de decisiones para los programas reproductivos (Barillet y Boichard, 1994), y de gestión a nivel de granja (Sakul y Boylan, 1992).

Se han descrito numerosos modelos empíricos y biológicos de ajuste de curvas para describir las curvas de lactación en el vacuno lechero (Masselin et al., 1987). En el ganado ovino, los estudios de la curva de lactación son escasos, y en ellos se han aplicado principalmente los modelos previamente descritos para vacuno lechero. Algunos estudios han evaluado distintos modelos pero han sido realizados bajo sistemas de manejo tradicionales incluyendo el periodo de amamantamiento del cordero, lo que no permite evaluar la curva completa de lactación (Carta et al., 1995; Macciotta et al., 1999; Oravcová et al., 2006; Ruiz et al., 2000). De los pocos que describen la lactación completa encontramos algunos efectuados bajo condiciones experimentales (Cappio-Borlino et al., 1997; Groenewald et al., 1995; Portolano et al., 1996). Finalmente, podemos encontrar estudios relativamente recientes de la curva de lactación completa en las razas assaf y awassi mejorada, bajo condiciones intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). En éstos se evalúan diversos modelos empíricos y biológicos previamente descritos para vacuno, tanto en su versión original como en sus versiones linealizadas, equilibradas o reducidas: Wood (Wood, 1967), Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989), Grossman (Grossman y Koops, 1988) y Pollott Multiplicativo y Aditivo (Albarran-Portillo y Pollott, 2008; Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2000); siendo estos últimos, y en especial sus versiones reducidas de 2 y 3 parámetros, los modelos que lograban un mejor ajuste en ambas razas ovinas.

Sin embargo, la estrategia de ajuste de curvas denominada Polinomios Fraccionales (Royston y Altman, 1994), ampliamente aplicada para el ajuste de numerosos tipos de curva como por ejemplo al estudio de las curvas de crecimiento (Paladini et al., 2005), no ha sido hasta nuestro conocimiento previamente utilizada para el ajuste de curvas de lactación en ganado ovino, a pesar de ser una herramienta matemática de prometedores resultados en el ajuste de curvas.

Finalmente, en lo relativo al estudio de los factores que afectan a la curva de lactación los estudios que resultan especialmente interesantes son los realizados en las razas assaf y awassi mejorada bajo condiciones intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). Sin embargo, carecemos de estudios dedicados específicamente a la raza lacaune. Además, en ambos trabajos citados, se estudiaron los distintos factores de forma independiente; cuando desde un punto de vista práctico, resultaría de gran interés realizar análisis multivariantes que permitan el establecimiento de tipologías en las curvas de lactación. A este respecto, si bien esta técnica se ha aplicado con éxito a todo tipo de dominios científicos como la ecología, la lingüística, la psicometría, el análisis de mercados, la arqueología, etc. (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2011); hasta nuestro conocimiento sólo se ha aplicado al estudio de curvas de lactación en dos trabajos en vacas lecheras, para analizar los tipos de curva

durante el primer tercio de lactación en 465 vacas (Cardenas, 2009) y para detectar factores que afectaban a la producción en 404 vacas lecheras (Astiz et al., 2014).

Una vez identificados el/los mejores modelos matemáticos de ajuste de curva en la oveja lacaune y ajustadas las curvas, se pueden estudiar los factores que afectan al nivel productivo de los animales en estas condiciones de trabajo.

Por lo tanto, el presente estudio tiene por objeto a) Describir la curva de lactación de la oveja lacaune bajo un sistema de producción intensivo, b) Investigar el uso de funciones matemáticas empíricas y biológicas previamente descritas y aplicar por primera vez la estrategia de ajuste de curvas de polinomios fraccionales para identificar los mejores modelos de ajuste a los datos con el fin de describir la curva de lactación completa de la oveja lacaune bajo un sistema de producción intensiva y c) Identificar los factores que afectan la curva de lactación y los distintos tipos de curva diferenciables en la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción, mediante la metodología estadística de tipologías.

OBJETIVOS

1 **3. OBJETIVOS.**

2 **3.1. OBJETIVO GENERAL**

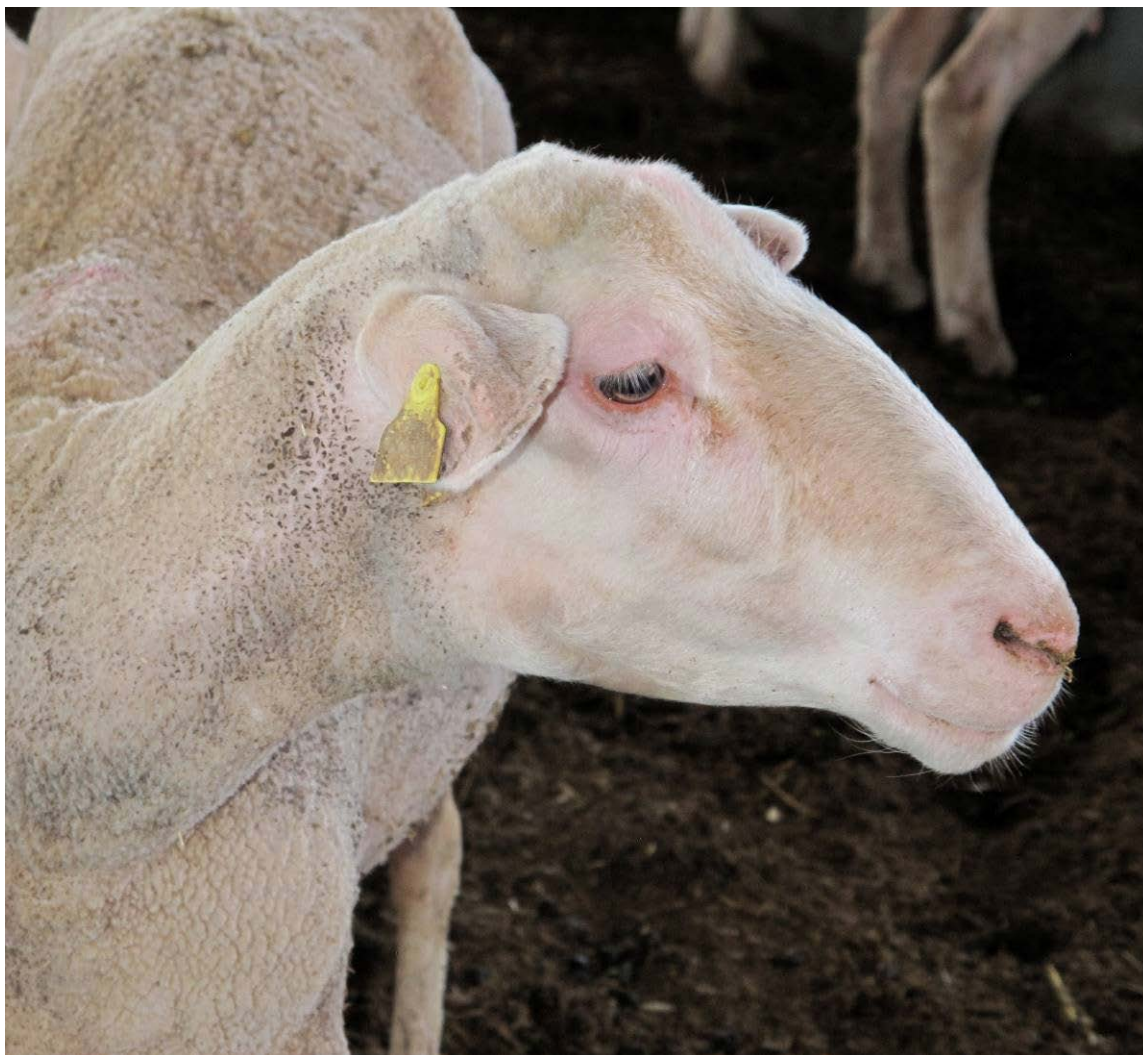
3 Descripción y caracterización de la productividad de la raza ovina lacaune de aptitud lechera en
4 condiciones intensivas de producción.

5 **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

6 1. Descripción de la curva de lactación de la raza lacaune bajo condiciones de
7 producción intensivas: **CAPÍTULO 1**

8 2 Determinación del mejor ajuste matemático de la curva de lactación para la la
9 caracterización de dicha curva: **CAPÍTULO 2**

10 3. Estudio de los factores que afectan a la curva y por ende, al potencial productivo
11 de la oveja de raza lacaune. Identificación de clases de ovejas de raza lacaune en base a
12 su potencial productivo: estudio de tipologías: **CAPÍTULO 3**



**ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA
RAZA OVINA LACAUNE EN CONDICIONES INTENSIVAS DE
PRODUCCIÓN**

4. Capítulo 1. Descripción de la curva de lactación de la raza lacaune bajo condiciones de producción intensivas

4.1. INTRODUCCIÓN

El manejo intensivo del ovino, tal y como veremos en los resultados de nuestra explotación objeto de estudio, permite optimizar el potencial reproductivo y productivo de la raza. En el presente trabajo, investigamos acerca de la producción láctea de las ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo. Este hecho es poco frecuente en la literatura científica, dado que si bien esta raza francesa ha sido sometida durante más de treinta años a rigurosos programas de mejora genética con el fin de mejorar su nivel productivo y adaptación al ordeño mecánico, el destino de la leche producida por esta raza en Francia es la fabricación del queso Roquefort y la reglamentación de esta D.O.P sólo permite la explotación tradicional de los animales. Sin embargo, desde 1992 diferentes países, entre ellos España, han importado de Francia genética de la raza lacaune a través de la asociación oficial de criadores. Dado que las explotaciones de estos países se encuentran fuera de la D.O.P. Roquefort, no cuentan con el alto precio de la leche asociado a la misma, siendo la explotación intensiva la única manera de alcanzar el mayor potencial productivo de la raza y la mayor rentabilidad. La descripción y caracterización de la curva de lactación de la raza lacaune bajo condiciones intensivas nos permitirá conocer sus características productivas, analizar los factores que la afectan, comparar con otras razas y estimar la producción futura de animales individuales. Para ello en este primer capítulo realizaremos el estudio descriptivo de la curva de lactación global de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción, así como de las curvas resultantes de agrupar las lactaciones en función de su número (lo que denominaremos orden de lactación) o su duración (clasificadas en cortas, medias, largas y ultralargas).

4.2. MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.1. Población del estudio

El trabajo completo de la presente tesis doctoral, incorpora tres estudios, el primero de los cuales se desarrolla en el presente capítulo, en base a los datos reproductivos y de producción láctea a partir del primer parto de 3.677 ovejas de raza lacaune pertenecientes a una misma explotación comercial. Los datos recogidos incluyen el período entre 2005 y 2010. Las ovejas pertenecen a un rebaño con un tamaño medio total de 4.000 ovejas ubicado en la Granja Cerromonte (Ávila, España, clima continental, latitud 40,90° N y 900 m de altitud). El rebaño original proviene de tres importaciones sucesivas de corderas de unos cuatro meses de edad procedentes de la Asociación francesa de lacaune (Upira lacaune

de la Región de Aveyron) realizadas entre 2005 y 2006 a través de Genelex (Génétique Lacaune Export). De modo que los datos incluidos en el estudio incorporan la información de estas ovejas originales desde su primer parto, así como de su descendencia posterior. En la actualidad, la explotación, de unas 3.000 ovejas en ordeño, cuenta con unas 4.000 ovejas mayores de un año, 2.000 corderas de recría y 100 sementales. Las condiciones ambientales (instalaciones, nutrición, manejo, distribución de grupos, etc.) de los animales han sido prácticamente las mismas a lo largo de todo el periodo de estudio. A excepción del manejo reproductivo tal y como explicamos más adelante.

Los animales se alojan en instalaciones cerradas, pero expuestos a condiciones naturales de foto- y termo-periodo (ver imagen 1). Además, la explotación dispone de un programa sanitario para el seguimiento del adecuado estado de salud y la presencia de patógenos específicos. La explotación está libre de brucelosis y agalaxia contagiosa, y no presenta incidencia de tuberculosis, ni paratuberculosis, ni Maedi-Visna.



Imagen 1. Ovejas de la explotación objeto del estudio en el patio de producción

La alimentación de las ovejas es de tipo *unifed*, con distintas raciones de acuerdo al nivel de producción (alta y baja). En el momento en que las ovejas del patio de alta cuentan con más de 120 días posparto y/o

producen menos de 1,5 l/día, pasan al patio de baja con una ración menos energética. Las materias primas base de la ración son maíz, soja, pulpa de remolacha deshidratada, paja de cereal, silo de centeno y grano de cebada (ver tabla 22).

Tabla 22. Composición de la ración de alta y baja de la explotación

| Ración | Ingrediente | % Unif | % Prem | MF Kg/animal/d (%) | | MS Kg/animal/d | |
|------------------|-----------------------------|--------|--------|--------------------|-----------|----------------|------|
| | | | | baja | alta | baja | Alta |
| Unifeed | Colza solvente | 27.5 | 63.3 | 1,1 (20) | 1,75 (29) | 0,97 | 1,54 |
| | Salvado cuartas trigo duro | 16.9 | | | | | |
| | Cascarilla soja (12/34) | 14.6 | | | | | |
| | Ddg maíz (10% GB) | 12.9 | | | | | |
| | Girasol 28% | 10.6 | | | | | |
| | Trigo blando | 9.5 | | | | | |
| | Carbonato calcico | 3.5 | | | | | |
| | Lignobond | 0,9 | | | | | |
| | NUTRAL 4% ovejas/cabras | 0,9 | | | | | |
| | Urea | 0,8 | | | | | |
| | Fosfato bicalcico 17,5 | 0,8 | | | | | |
| | Sal | 0,7 | | | | | |
| Premezcla | Maiz nacional | 15.7 | | | | | |
| | Cebada cervecera | 10.7 | | | | | |
| | Soja 44% | 8.1 | | | | | |
| | Melaza de remolacha | 2.2 | | | | | |
| Ración | Cebadilla | | | 2,0 (36) | 2,0 (33) | 0,50 | 0,50 |
| | Silo centeno 11/33/ 28 m.s. | | | 2,0 (36) | 2,0 (33) | 0,56 | 0,56 |
| | Paja cereales | | | 0,45 (8) | 0,22 (4) | 0,43 | 0,21 |

A nivel reproductivo, el manejo entre 2005-2007 se basó en un sistema de cubriciones y partos continuos. A partir de 2008, y hasta el final del periodo de estudio, con el objeto de mejorar la organización y manejo de la explotación se comenzó a trabajar con grupos de parideras de un tamaño medio de 1.000 animales. Para ello, el manejo reproductivo durante este periodo incluye cinco periodos de cubrición anuales (con intervalos de aproximadamente 75 días) en los que las ovejas permanecen con los machos durante 25 días para permitir la monta natural. Los grupos de cubrición y paridera están adaptados al manejo de la explotación y tienen lugar siguiendo los intervalos descritos en la tabla 23. En estos grupos de cubrición el ratio hembra: morueco fue de 20:1.



Imagen 2. Nave 1 de producción de la explotación con acceso al unifeed (foto de Fernando Hernández)

Tabla 23. Periodos de cubrición y paridera organizados a partir del año 2008 en la granja objeto de estudio

| Grupo | Periodo de cubrición | Periodo de paridera |
|-------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | 15 enero-9 febrero | 8 junio-3 julio |
| 2 | 9 abril-4 mayo | 1-26 septiembre |
| 3 | 16 junio-13 julio | 10 noviembre-5 diciembre |
| 4 | 27 agosto-21 septiembre | 19 enero-13 febrero |
| 5 | 5-30 noviembre | 29 marzo-23 abril |

En la mayoría de las ovejas adultas, no se utiliza ningún método de sincronización del celo a excepción del “efecto macho” en alrededor del 80-90% de las mismas. Los machos se incorporan a los corrales de estabulación de las ovejas sólo durante periodos de 25 días para permitir la monta natural (periodo de cubrición).

Las corderas púberes se incluyen en el grupo de cubrición entre los 8 y los 10 meses de edad. Todas las corderas y alrededor del 10-20% de las ovejas (repetidoras o en cubriciones entre abril y junio) se sincronizan hormonalmente. El programa de sincronización del celo consiste en la inserción intravaginal de esponjas impregnadas con progestágenos durante 14 días (40 mg de acetato de fluorogestona, FGA, Chronogest®, MSD AH, Boxmeer, Holanda o Sincropart® Esponjas, Ceva, Loudeac, Francia). A continuación, el día en que se retiran las esponjas, se administran 400 UI de eCG (Folligon®, MSD AH, Boxmeer, Holanda o Sincropart® PMSG, Ceva, Loudeac, Francia). Treinta y seis horas después, las hembras entran en contacto con los moruecos permitiéndose la monta natural durante 25 días. En estos grupos de cubrición bajo sincronización el ratio hembra: morueco es de 5: 1.



Imagen 3. Grupo de sementales de la explotación objeto del estudio

Desde 2009 se ha introducido la inseminación artificial en la granja, de modo que alrededor del 25% de las gestaciones (350 ovejas y 700 corderas, anualmente) tienen lugar mediante inseminación artificial transcervical con semen fresco refrigerado (imagen 4) o bien intrauterina (por laparoscopia) con semen congelado de carneros de raza lacaune mejorada procedentes principalmente del núcleo de mejora genética francés y español. El diagnóstico de gestación se realiza mediante ecografía transabdominal entre 35 y 60 días después del periodo de cubrición.

La edad media al primer parto es de $432,9 \pm 78,8$ días (14,4 meses) y el periodo de espera voluntario después del parto oscila entre 50 (casos esporádicos) y 140 días (en ovejas repetidoras). Sin embargo, debido a que la prioridad para el mantenimiento de la rentabilidad de la granja es completar los grupos de partos (1.000 animales, aproximadamente), a fin de uniformizar la producción y distribución del trabajo, en

algunos casos la inclusión de los animales en los grupos de cubrición puede ser anterior a los 50 días o posterior a los 140 días postparto.



Imagen 4. Inseminación artificial cervical en la granja objeto del estudio (foto de Fernando Hernández)

Tras el parto, los corderos se separan de su madres (lactancia artificial completa) y las ovejas se ordeñan dos veces al día en una sala de ordeño tipo casse de 2x50x50 de DeLaval en tandas de 100 animales con un intervalo entre ordeños de 14 y 10 horas. La lactación se considera terminada cuando la producción de leche cae por debajo de 0,5 l/día o quedan entre 55 y 30 días para la fecha esperada de parto (42,5 días de media), momento en que se procede al secado de las mismas sin que se aplique ningún tipo de tratamiento farmacológico de secado en el periodo objeto de estudio.



Imagen 5. Sala de ordeño tipo casse de 2x50x50 y tanques de leche de la explotación objeto de estudio

Al igual que ocurría en la organización de los grupos de monta, hay excepciones a esta regla general por lo que los periodos secos pueden variar porque se decide reducir su duración o al contrario, porque se decide alargar la lactación. Esto ocurre ocasionalmente cuando se olvida de secar algún animal 30 días antes del siguiente parto o cuando se decide alargar la lactación en ovejas con producciones lecheras excepcionalmente altas.

A las corderas de recría separadas tras el parto se les administra calostro ordeñado con biberón, siendo posteriormente alimentadas mediante nodriza con lactorreemplazantes hasta su destete a los 11 kg de peso vivo, aproximadamente 30 días después del nacimiento. A partir de entonces, se alimentan con concentrado y heno, con el objeto de alcanzar el 75% del peso vivo adulto en 5 meses. La mayor parte de las corderas nacidas entre marzo y agosto alcanzan la pubertad entre 5-7 meses de edad y entran en reproducción en su primera estación reproductora (septiembre-diciembre), siendo estas corderas las más precoces. Las corderas nacidas en el resto del año alcanzan la pubertad algo después, entrando con más de 8 meses en reproducción. Estos animales se inseminan, de media, con 9 meses de edad.



Imagen 6. Corderas de reposición en fase lactante en uno de los corrales con nodriza

4.2.2. Registro e incorporación de datos

Los registros de datos productivos y reproductivos fueron recogidos, almacenados y validados utilizando el software de Alpro para Windows en granja (DeLaval, Tumba, Suecia). Por otro lado, los registros de producción diaria individual almacenados en copias de seguridad periódicas se unieron en un único fichero Excell y fueron posteriormente validados.

Así realizamos una depuración previa de los datos para asegurar la calidad y representatividad de los mismos en la cual se eliminaron un total de 868 lactaciones anormales debido a alguna de las siguientes causas:

- Lactaciones con dato de parto e identificación del animal pero sin ninguna muestra de leche
- Lactaciones cuya primera muestra se registra más allá del día 40 posparto
- Lactaciones con ≤ 60 datos de producción distribuidos sólo en los primeros 3 meses de lactación
- Registros individuales de producción mayores a 6,9 l. En los casos con producciones entre 6,9 - 5,8 l contemplamos individualmente los datos, y aquellos que se desvían claramente de los datos adyacentes se eliminaron
- Lactaciones de menos de 120 días de duración en la última lactación de cada oveja, para evitar los datos de lactaciones con producciones anormalmente bajas y/o lactaciones anormalmente cortas debido a causas distintas a la capacidad de producción
- Lactaciones anormalmente interrumpidas durante los primeros 120 días de lactación que presentaban un último dato de producción mayor a 1 l, para evitar ovejas con algún problema sanitario, muerte súbita, etc.
- Lactaciones número >5 , por su escaso número en general y por considerar que pueden tener características muy excepcionales, como edad e individualidad de esas ovejas tan longevas en alta producción

En este primer estudio se han analizado los datos de producción de 3.677 ovejas. De éstas, 1.372 (37,3%) sólo aportaban una lactación, 975 (26,5%) dos lactaciones, 800 (21,8%) tres lactaciones, 499 (13,6%) cuatro y sólo 31 (0,8%) cinco lactaciones. En total contábamos con 664.220 registros de producción diaria registrados de 7.873 lactaciones, con una media de 84,37 registros diarios por lactación. Dado el gran número de datos disponibles, que, sin embargo, no eran totalmente completos, ya que no siempre contábamos con el registro diario de cada animal, decidimos calcularlos semanalmente para obtener una mayor homogeneidad en los datos, quedando finalmente un total de 201.281 registros semanales y con una media de 25,6 por lactación. Para poder comparar posteriormente los resultados de nuestro estudio con otros trabajos, realizamos los ajustes de los modelos utilizando el día central de la semana ($t = \text{día} = 7 * \text{semana} - 3$; $\text{semana} = 1 - 40$).

En una segunda fase, realizamos una depuración más exhaustiva de los datos en la cual se eliminaron un total de 85 lactaciones anormales debido que eran lactaciones con intervalos sin dato alguno entre dos registros de producción, de al menos, tres semanas. Esta nueva depuración no se tuvo en cuenta en la primera fase, porque no alteraba los cálculos medios ni la aproximación a las curvas. Sin embargo, al efectuar el ajuste individual de las curvas, sí introducía incorrecciones no debidas a la lactación en sí, o a

la productividad de la oveja, por lo que se descartaron. De manera que finalmente, para el estudio en el capítulo 3 fueron 7.788 las lactaciones incluidas en el estudio descriptivo de la curva de lactación.

4.2.3. Clasificación y tipos de lactaciones

Utilizando los datos reales de 7.873 lactaciones se aproximaron las curvas que denominaremos “reales”, es decir, las curvas resultantes a partir de los datos medios semanales sin efectuar ajustes matemáticos ni “rellenar” los huecos existentes entre registros. Simplemente se calcularon las medias semanales de los datos registrados y para el trazado de las curvas se efectuó la unión entre los puntos medios. Así obtuvimos la curva de lactación global real (LG), una curva media única que incluye la media de todos los datos de lactación en función del tiempo, reuniendo todas las ovejas y lactaciones.

Posteriormente, realizamos una primera agrupación de las lactaciones en base al número de lactación: 2.718 primeras lactaciones (L-1), 2.343 segundas (L-2), 1623 terceras (L-3), 843 cuartas (L-4) y 346 quintas lactaciones (L-5). A fin de obtener las curvas medias “reales” de cada orden de lactación (de L-1 a L-5) y comparar las características de las mismas.

A continuación, debido a que habíamos observado grandes diferencias individuales en cuanto a la duración de la lactación, decidimos realizar una segunda agrupación según la duración de la misma. Dado que la lactación estandarizada en ovino es muy variable entre estudios y razas, utilizándose por lo general periodos más cortos en las razas mixtas (90-120d) y más largos en las razas especializadas en producción láctea (150-240d), decidimos establecer desde un punto de vista práctico los grupos descritos en la tabla 24 (Barillet et al., 2001; Berger et al., 2010; FEAGAS, 2011).

Tabla 24. Clasificación de las lactaciones en la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo en base a su duración (D)

| Nombre | Abreviatura | Duración (D) | Número de lactaciones |
|------------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| Corta | LS | ≤19 semanas | 486 |
| Media | LM | ≥20 D ≤29 semanas | 2.685 |
| Larga | LL | ≥30 D ≤39 semanas | 3.231 |
| Muy larga | LXL | ≥40 semanas | 1.471 |

LS = lactaciones cortas; LM = lactaciones medias; LL = lactaciones largas; LXL = lactaciones muy largas; D = duración de la lactación.

De nuevo, a partir de estos grupos calculamos las curvas medias “reales” de cada tipo. La curva de tipo “LS” (lactaciones de menor longitud o longitud “S”) se determinó a partir de los datos medios de las 486 lactaciones de este tipo; la curva “LM” (lactación “mediana”) a partir de los datos medios de las 2.685 lactaciones medias; y así sucesivamente. Así se obtuvieron las curvas de lactación “reales” de las lactaciones LS, LM, LL (lactaciones largas) y LXL (lactaciones muy largas); y se pudieron estudiar las características de las mismas.

Por tanto, en el caso de todas estas curvas “reales” de lactación, tanto la global como las distintas agrupaciones realizadas en base al número o a la duración de la lactación, se trata de curvas únicas y representativas de cada tipo de lactación.

4.2.4. Parámetros calculados

Los parámetros de caracterización de la curva de lactación previamente descritos (Masselin et al., 1987) fueron calculados para las diferentes curvas (figura 14). Los parámetros calculados fueron los siguientes:

- La producción total de la lactación (**PTL**) o producción láctea diaria acumulada hasta los 280 días de ordeño. Se corresponde con la integral de la curva de lactación o área bajo la curva hasta el día 280
- La producción láctea inicial (**PLi**) es la estimada a partir de la media de producción de la primera semana posparto
- El pico de máxima producción láctea (**PLmax**) indica el día/semana posparto (**Tmax**) en que se alcanza la máxima producción diaria. Se obtienen, respectivamente como la ordenada y abscisa en el punto donde la derivada de la curva $dPL(t)/dt$ se anula
- La persistencia de la producción (**PerL**), definida como la tasa de pérdida de producción láctea en ml/día a los 150 días en leche, que se corresponde a la derivada de la curva a los 150 días postparto
- La duración de la lactación (**D**), definida por el intervalo parto-secado
- El ritmo de crecimiento o pendiente de la fase de producción creciente (**CrP**). Se determina mediante la tangente a la curva, lo que se correspondería con la derivada de la curva de lactación $dPL(t)/dt$ en el punto medio de la fase de producción creciente

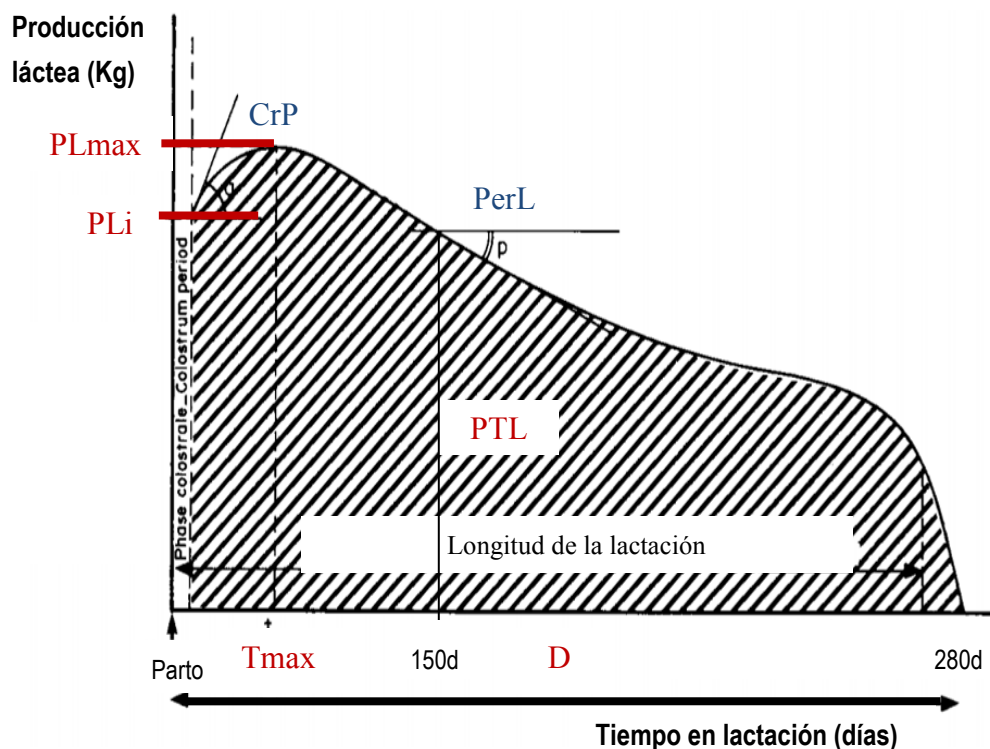


Figura 14. Parámetros de caracterización de la curva de lactación ovina (Masselin et al., 1987) modificado. PTL producción total de la lactación; PLi producción láctea inicial; PLmax pico de máxima producción láctea; Tmax día/sem del PLmax; CrP ritmo de crecimiento; PerL persistencia de la producción 150 d en leche; D duración de la lactación.

4.2.5. Análisis estadístico

El análisis descriptivo fue realizado con SAS[®] (versión 9.2, 2010, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). En los parámetros cuantitativos la presencia de diferencias significativas entre más de dos grupos fueron estimadas mediante análisis de varianza (ANOVA), y se realizó una prueba de Duncan *post hoc* para contrastar las diferencias entre los grupos. Para las comparaciones en las variables categóricas (porcentajes) se utilizó una prueba de Chi cuadrado. La significación estadística fue de $P < 0,05$ o $P < 0,01$, dependiendo de la prueba realizada.

Dada la gran cantidad de registros de producción láctea diaria individual disponible (664.220 registros), el ajuste de la curva de lactación “real” se realizó utilizando los datos reales no datos estimados, utilizando los registros diarios y promediándolos para obtener valores medios semanales entre las semanas 1 a 40 de lactación. Con ello se generó la denominada “curva de lactación real de la oveja lacaune”.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Estudio descriptivo de la curva de lactación global de la oveja lacaune (LG)

La forma de la curva de lactación “global” LG de la oveja lacaune coincidía a lo largo de la lactación con el patrón característico de las curvas de lactación previamente descritas para otras especies ganaderas (ver figura 10), tal y como se puede apreciar en la figura 15.

De modo que la curva cuenta inicialmente con 1) fase ascendente de producción a partir de una producción inicial posparto, 2) mantiene ese pico durante un tiempo y 3) comienza a descender con una pendiente bastante acusada hasta el final de la lactación.

Las características generales de la curva de lactación global de la oveja lacaune se describen en la tabla 25. La curva LG dio lugar a una PTL media de 424,41l durante las 40 semanas (280 días) de seguimiento de la lactación. Sin embargo, la D media de la lactación fue de 32 semanas (224 días). Por otro lado, la lactación estandarizada a 160 días (23 semanas), tal y como se ha evaluado en otros trabajos con distintas razas, alcanzaría una producción acumulada de 345,24 l.

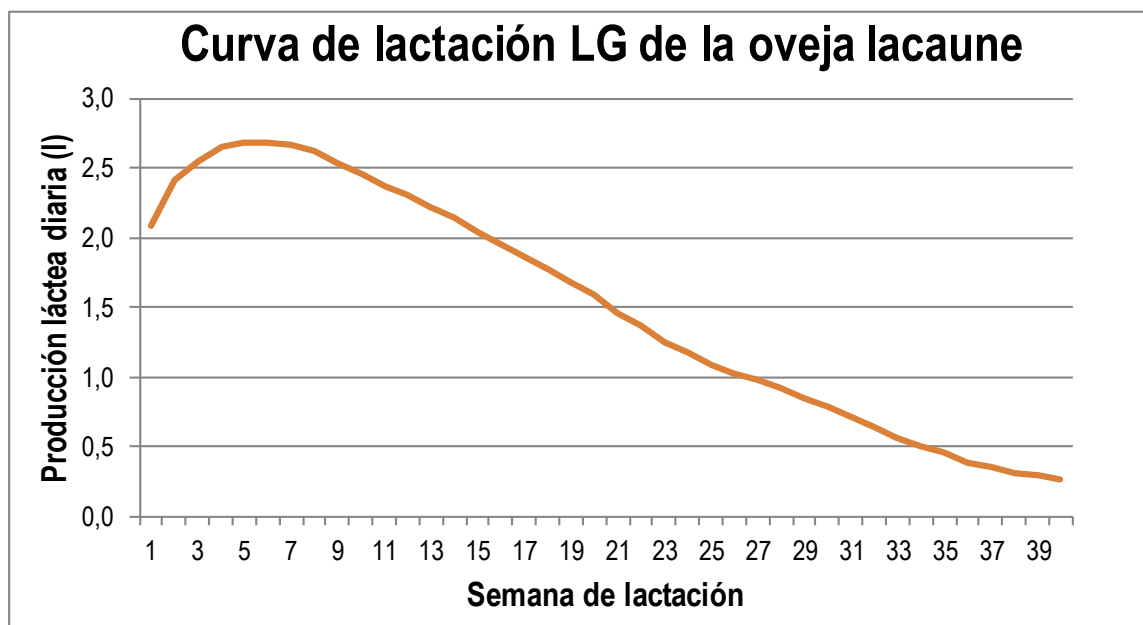


Figura 15. Valores medios semanales de producción láctea (l) de ovejas lecheras de raza lacaune bajo manejo intensivo hasta la semana 40 de lactación, obtenidos a partir de los registros de 7.873 lactaciones completas

Por otro lado, la media de PLi fue de 2,09 l, alcanzándose una PLmax de 2,69 l en un Tmax 34 días (semana 5). Respecto a la CrP de la producción láctea, ésta se incrementó 18,46 ml/día en el punto medio entre el inicio y el pico de lactación; mientras que PerL a los 150 días en lactación fue de 14,64 ml/día.

Tabla 25. Media estimada para las principales características de la curva de lactación LG de la oveja lacaune bajo las condiciones intensivas de producción de nuestra explotación estudio

| Parámetro | lacaune |
|-------------|------------------|
| PTL (l) | 424,41 \pm 181 |
| D (d) | 224 \pm 64 |
| Tmax (d) | 34 \pm 26 |
| PLmax (l) | 2,69 \pm 0,75 |
| PerL (ml/d) | 14,64 |

PTL = producción total de la lactación (l); D = duración de la lactación (días); Tmax = día en que se alcanza la PLmax; PLmax = pico de máxima producción láctea (l); PerL = persistencia de la producción a los 150 días de lactación

Finalmente, el análisis de la producción acumulada puso en evidencia cómo el 50% del total de leche producida a lo largo de la lactación se alcanzaba de media en la semana 12, el 75% en la semana 19, el 90% en la semana 26 y el 95% en la semana 29 (tabla 24).

4.3.2. Estudio descriptivo de las curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas en base al número u orden de lactación

Un primer análisis comparativo de la forma de la curva de las curvas agrupadas en base al número de lactación L1 a L5 (figura 16) puso de manifiesto cómo las distintas curvas seguían un patrón semejante, siendo las lactaciones L2-L5 casi paralelas entre sí y situándose la LG en un punto medio de las mismas. Sin embargo, la L1 presentó un patrón ligeramente distinto presentando una primera fase ascendente que se iniciaba con menor producción; hasta alcanzar en la segunda fase un PLmax intermedio y retrasado respecto al resto de curvas; y dar lugar finalmente a una tercera fase descendente con menor pendiente y mayor producción al resto de curvas.

El estudio comparativo de los parámetros de caracterización de la curva de lactación agrupadas en base al número de lactaciones (tabla 24) puso en evidencia cómo la mayor PTL se alcanza en la primera lactación (446,78 l); si bien tanto las primeras como las segundas lactaciones eran las más productivas (446,78 y 443,65 l, respectivamente), comenzando después a descender a medida que se incrementa el número de lactación.

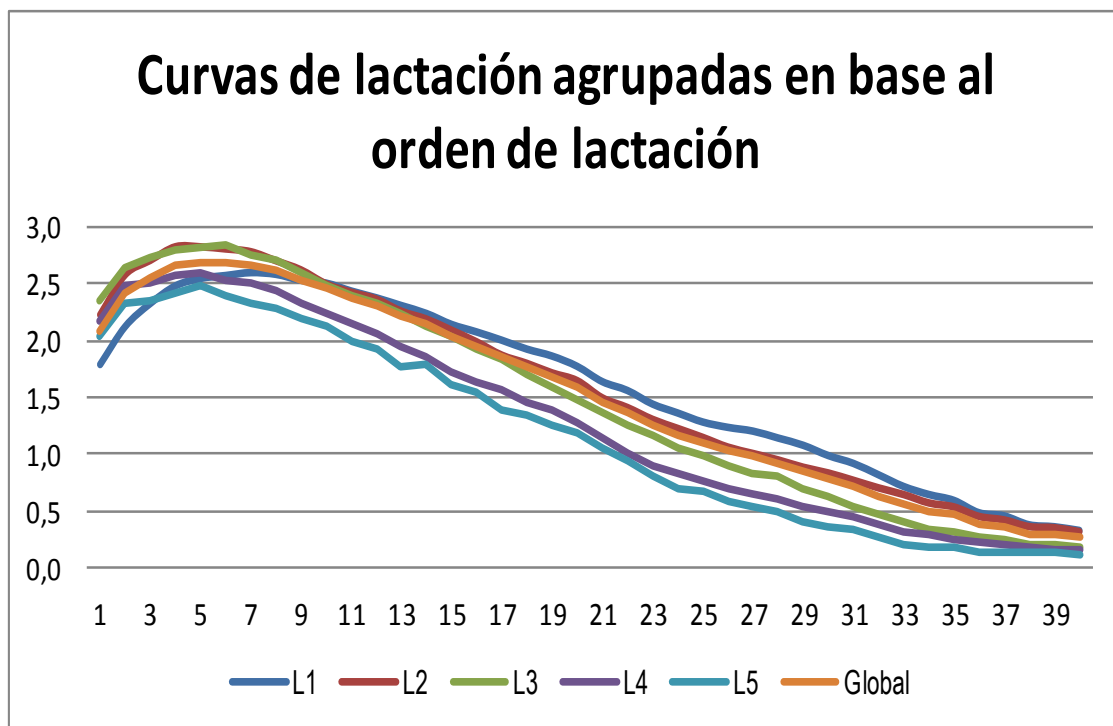


Figura 16. Valores medios semanales de producción lactea (l) de la oveja lechera lacaune bajo condiciones de manejo intensivo entre la primera a quinta lactación (L1-L5) y global (LG) hasta la semana 40 de lactación, obtenidos a partir de los registros de 7.873 lactaciones completas.

Este descenso era especialmente marcado a partir de la cuarta lactación (PTL de 361,99 l). Sin embargo, en la producción total estandarizada a los 160d (PTsd160) la mayor producción se alcanzó en la segunda lactación (357,88 l), descendiendo paulatinamente en las siguientes lactaciones hasta los 291,04 l en la quinta lactación. En la primera fase ascendente de la curva, el CrP en el punto medio entre el inicio y el pico de lactación fue máximo en la L2, intermedio en las lactaciones L1 y L3; y mínimo en la L4 y L5.

Respecto al pico de la curva, en la primera lactación se alcanzó más tarde el Tmax que en las siguientes lactaciones (Tmax se alcanza el día 48, 27, 39, 32 y 32 en la L1-L5, respectivamente); siendo la PLmax algo menor en la L1 que en la L2 y L3, pero no que en la L4 y L5 (2,60; 2,82; 2,83; 2,59; y 2,49 l en la L1-L5, respectivamente). Finalmente, en la fase descendente de la curva PerL fue mínima en la segunda lactación (13,5 ml/d), aumentando paulatinamente a medida que se incrementaba el número de lactación hasta alcanzar el máximo en la quinta lactación (17,5 ml/d). En la L1 tomó un valor intermedio entre la L2 y la L3.

Tabla 26. Características productivas de las curvas de lactación de la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo, agrupadas en base al número de lactación: LG y L1-L5

| L | N | PTL (l) | PTsd160 (l) | PLmax (l) | Tmax (sem) | CrP (ml/d) | PerL (ml/d) | D (sem) |
|-----------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| L1 | 2718 | 446,78 | 348,78 | 2,60 | 7 | 22,09 | 14,08 | 34 ^a |
| L2 | 2343 | 443,65 | 357,88 | 2,82 | 4 | 34,25 | 13,53 | 32 ^b |
| L3 | 1623 | 414,13 | 350,94 | 2,83 | 6 | 11,42 | 14,61 | 30 ^c |
| L4 | 843 | 362,00 | 311,58 | 2,59 | 5 | 4,98 | 17,14 | 28 ^d |
| L5 | 346 | 330,31 | 291,04 | 2,49 | 5 | 2,65 | 17,49 | 26 ^e |
| LG | 7873 | 424,41 | 345,24 | 2,69 | 5 | 18,46 | 14,64 | 32 |

L = lactación; n = lactaciones analizadas; LG = lactación global; Li = número de lactación, i =1-5

PTL = producción total de la lactación (l); PTsd160 = producción total estandarizada 160 días; PLmax = pico de máxima producción láctea (l); Tmax = día en que se alcanza la PLmax; CrP calculado en el punto medio de la fase de producción creciente. PerL calculada a día 150 de lactación; PerL = persistencia de la producción a los 150 días de lactación; D = duración de la lactación (semanas). Los valores de la misma columna con diferentes superíndices son significativamente distintos ($P<0,01$)

Finalmente, el análisis de los distintos percentiles de producción acumulada a lo largo de la lactación puso en evidencia cómo el 50% del PTL se alcanzaba entre las semanas 10-13, el 75% entre las semanas 16-20, 90% en las semanas 22-27 y el 95% en la semana 25-30. Estas producciones se alcanzaron antes en la L4 y L5; mientras que las ovejas de primera lactación alcanzaron los distintos percentiles más tardíamente que el resto de lactaciones (tabla 27).

Respecto a la duración de la lactación (tabla 28), si bien la LG tuvo una D media de 32 semanas, la curva de lactación media más prolongada se correspondió con la primera lactación (34 semanas), siendo el resto de curvas progresivamente más cortas hasta la semana 26 de la L5 ($P<0,01$). La D mínima de la lactación, alcanzada por el 80% del rebaño, fue de 23 semanas (161 días), si bien el 25% de las lactaciones alcanzaron al menos las 37 semanas de producción.

Tabla 27. Percentiles que reflejan la producción láctea acumulada de la oveja lechera lacaune bajo manejo intensivo en la LG y entre la primera y la quinta lactación (L1-L5)

| L | Semanas en leche tras las que se alcanza cada percentil de producción acumulada n | | | |
|-----------|---|-----------|-----------|-----------|
| | 50% | 75% | 90% | 95% |
| L1 | 13 | 20 | 27 | 30 |
| L2 | 12 | 19 | 26 | 29 |
| L3 | 11 | 17 | 24 | 27 |
| L4 | 10 | 17 | 23 | 27 |
| L5 | 10 | 16 | 22 | 25 |
| LG | 12 | 19 | 26 | 29 |

L= lactación; LG = lactación global; Li = número de lactación, i=1-5

Tabla 28. Percentiles que reflejan la duración (D) de la curva de lactación de la oveja lechera lacaune bajo condiciones intensivas de producción entre la primera y la quinta lactación

| L | Longitud media (semanas) | Percentiles de lactaciones terminadas con la siguiente D (en semanas) | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 20 | 50 | 60 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| L1 | 34 ^a | 26 | 34 | 36 | 38 | 39 | 41 | 43 | 45 | 50 |
| L2 | 32 ^b | 23 | 32 | 35 | 38 | 39 | 41 | 42 | 44 | 47 |
| L3 | 30 ^c | 23 | 30 | 31 | 33 | 34 | 36 | 37 | 39 | 43 |
| L4 | 28 ^d | 21 | 27 | 30 | 32 | 33 | 35 | 36 | 38 | 41 |
| L5 | 26 ^e | 21 | 26 | 29 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 38 |
| LG | 32 | 23 | 32 | 34 | 36 | 37 | 39 | 41 | 43 | 46 |

L= lactación; LG= lactación global; Li= número de lactación, i=1-5; D= duración de la lactación. Los valores de la misma columna con distintos superíndices son significativamente diferentes ($P<0,01$)

4.3.3. Estudio descriptivo de las curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas según su duración

El estudio de las lactaciones agrupadas según su longitud (figura 15) dió lugar a cuatro subgrupos, de los cuales dos (LL y LXL) presentaron una D media superior a la de LG (34 y 45 vs. 32 semanas,

respectivamente); mientras que las otras dos (LS y LM) tuvieron una D inferior (15 y 24 semanas, respectivamente).

Un primer análisis descriptivo de la forma de las curvas permitió ver claramente cómo las curvas agrupadas en base a su duración presentaban un patrón claramente diferenciado (figura 15). La curva de menor duración (LS) partía con la menor PLi, con una fase inicial ligeramente ascendente hasta alcanzar un pico máximo muy inferior al resto de curvas, y finalmente descendía rápidamente. Las curvas LM, LL y LXL presentaron un patrón similar paralelo entre sí pero parten de forma ascendente con una mayor PLi, hasta alcanzar de igual manera una mayor PLmax a mayor D y descendiendo finalmente también relativamente paralelas entre sí.

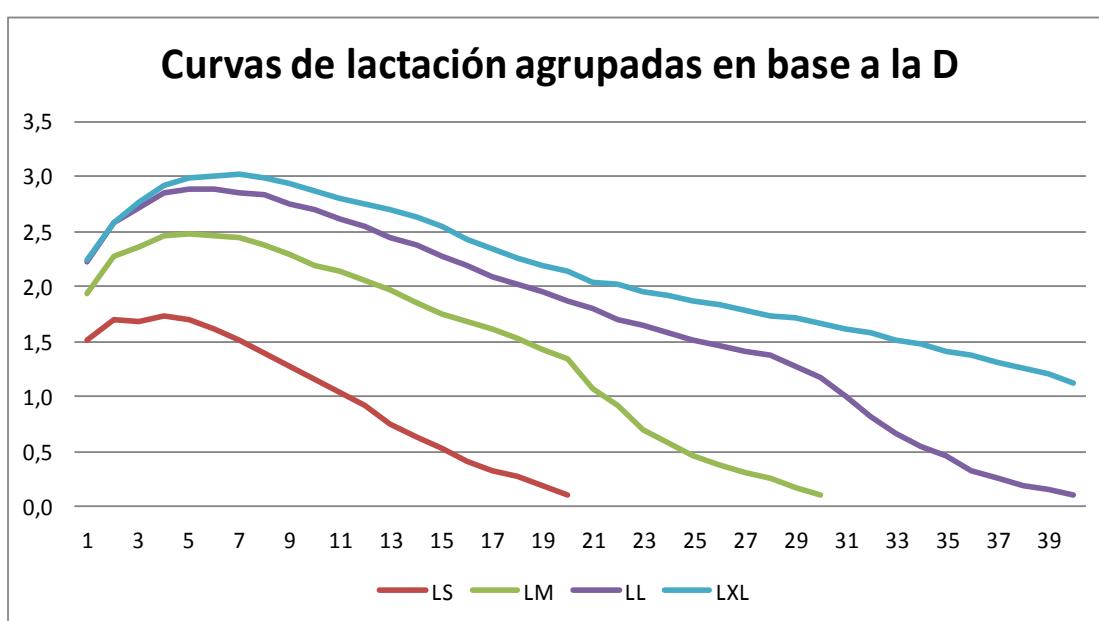


Figura 17. Valores medios de producción láctea diaria (l) de la oveja lechera lacaune bajo condiciones intensivas de producción por semana de lactación en los distintos tipos de curva agrupadas en función de la duración de la lactación: LS = lactaciones con $D \leq 19$ semanas; LM = lactaciones $20 \leq D \leq 29$ semanas; LL = lactaciones $30 \leq D \leq 39$ semanas; LXL = lactaciones $D \geq 40$ semanas.

Los parámetros de caracterización de la curva de los diferentes tipos de lactación agrupados en función de su duración (LS, LM, LL y LXL) mostraron cómo a mayor longitud de la lactación, mayor PTL y mayor PLmax (ver figura 17 y tabla 27).

El estudio comparativo de las características de las distintas curvas puso en evidencia cómo mientras que la PTL de las lactaciones LL y LXL fue superior a la de LG (482,43 y 597,64 vs. 424,41 l; respectivamente); las lactaciones LS y LM presentaron una PTL inferior (142,5 y 318,52 l; respectivamente).

En la primera fase ascendente, el CrP en el punto medio entre el inicio y el pico de lactación fue mínimo en las lactaciones de tipo LS (12,12 ml/día) incrementándose a medida que se incrementaba la D de la lactación hasta alcanzar un máximo en las de tipo LXL (23,22 ml/d).

Respecto al pico de la curva la PLmax fue superior al de la LG en las lactaciones LL y LXL (2,69 vs. 2,88 y 3,03 l, respectivamente) alcanzándose más tarde (Tmax 5 vs. 6 y 7 semanas; respectivamente); mientras que en las lactaciones LS y LM el PLmax fue inferior (1,72 y 2,47 l; respectivamente) y precoz (Tmax 4 y 5 semanas, respectivamente).

Finalmente, la fase descendente de la curva presentó una PerL mínima en las lactaciones de tipo LXL (6,30 ml/d), aumentando progresivamente a medida que disminuía la D de la lactación hasta alcanzar el máximo en las lactaciones de tipo LM (27,3 ml/d). Cabe destacar el hecho de que en las lactaciones tipo LS no fue posible calcular la PerL ya que éstas tenían una D inferior a los 150 días en que se calcula el citado parámetro ($D \leq 19$ semanas o 133 días).

Tabla 29. Características de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base a la longitud de las mismas

| L | N | PTL (l) | PLmax (l) | Tmax (sem) | CrP (ml/d) | PerL (ml/d) | D (sem) |
|-----|-------|---------|-----------|------------|------------|-------------|---------|
| LS | 486 | 142,50 | 1,72 | 4 | 12,22 | | 15 |
| LM | 2.685 | 318,52 | 2,47 | 5 | 13,73 | 27,30 | 24 |
| LL | 3.231 | 482,43 | 2,88 | 6 | 19,45 | 10,84 | 34 |
| LXL | 1.471 | 597,64 | 3,03 | 7 | 23,22 | 6,30 | 45 |
| LG | 7.873 | 424,41 | 2,69 | 5 | 18,46 | 14,64 | 32 |

L = lactaciones; N = lactaciones analizadas. LS = lactaciones con $D \leq 19$ semanas; LM = lactaciones $20 > D \leq 29$ semanas; LL = lactaciones $30 > D \leq 39$ semanas; LXL = lactaciones $D \geq 40$ semanas.

PTL= producción total de la lactación (l); Tmax = día en que se alcanza la PLmax; CrP calculado en el punto medio de la fase de producción creciente. PerL calculada a día 150 de lactación y D= duración de la lactación (días).

Además, el estudio de las lactaciones agrupadas en base a su duración mostró el efecto del número de lactación sobre el tipo de curva. Mientras que las de tipo LS tuvieron lugar significativamente con mayor frecuencia en L4 y L5 ($P < 0,05$); las LM aparecieron predominantemente entre L3-L5; las LL se observaron en mayor medida en L1 y L3; y las LXL entre L1 y L2 (tabla 30).

Tabla 30. Distribución de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base a la longitud de la lactación (LS, LM, LL y LXL) para los distintos números de lactación

| L | N | Porcentaje de cada número de lactación en cada grupo | | | | | Total |
|-----|-------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | |
| LS | 486 | 13,4 | 30,2 | 22,8 | 22,8 | 10,7 | 100 |
| LM | 2.685 | 27,6 | 29,1 | 23,4 | 13,8 | 6,1 | 100 |
| LL | 3.231 | 38,4 | 25,9 | 22,5 | 9,4 | 3,8 | 100 |
| LXL | 1.471 | 45,8 | 39,2 | 10,7 | 3,9 | 0,5 | 100 |
| LG | 7.873 | 34,4 | 29,8 | 20,6 | 10,7 | 4,4 | 100 |

L = lactaciones; n = lactaciones analizadas. LS = $D \leq 19$ semanas; LM = $20 > D \leq 29$ semanas; LL = $30 > D \leq 39$ semanas; LXL = $D \geq 40$ semanas. Li = orden de lactación, i=1-5

Los porcentajes de la misma columna en negrita son valores significativamente mayores ($P < 0,01$)

Por otro lado, mientras que las primeras lactaciones fueron mayoritariamente de tipo LL ($P < 0,05$), y contaron con escaso porcentaje de lactaciones de tipo LS; las lactaciones 4 y 5 fueron predominantemente de tipo LM y eran en un elevado porcentaje de tipo LL; y las L3 resultaron ser mayoritariamente de tipo LL pero con un amplio porcentaje de tipo LM (ver tabla 31).

Tabla 31. Distribución de las curvas de lactación de la oveja lacaune lechera bajo manejo intensivo, agrupadas en base al número de lactación en los distintos grupos y a la duración de la lactación (LS, LM, LL y LXL)

| Número de lactación | n | Porcentaje de cada grupo en cada número de lactación | | | | Total |
|---------------------|-------|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | LS | LM | LL | LXL | |
| L1 | 2.718 | 2,39 | 27,23 | 45,62 | 24,76 | 100 |
| L2 | 2.343 | 6,27 | 33,38 | 35,77 | 24,58 | 100 |
| L3 | 1.623 | 6,84 | 38,69 | 44,79 | 9,67 | 100 |
| L4 | 843 | 13,17 | 44,01 | 35,94 | 6,88 | 100 |
| L5 | 346 | 15,03 | 47,40 | 35,55 | 2,02 | 100 |

L = lactaciones; N = lactaciones analizadas. LS = lactaciones con $D \leq 19$ semanas; LM = lactaciones $20 > D \leq 29$ semanas; LL = lactaciones $30 > D \leq 39$ semanas; LXL = lactaciones $D \geq 40$ semanas. Li = orden de lactación, i = 1-5

Los porcentajes de la misma columna en negrita son valores significativamente mayores al porcentaje obtenido en la lactación global o media poblacional ($P < 0,01$)

4.4. DISCUSIÓN

4.4.1. Curva de lactación global de la oveja lacaune (LG)

La producción global media alcanzada en la explotación intensiva de ovejas lacaune objeto de nuestro estudio (345,24 l de producción por lactación estandarizada a 160 días) fue superior a la descrita en 2005 en el núcleo original francés bajo el sistema de manejo tradicional requerido por la D.O.P. Roquefort (283 l de producción por lactación estandarizada a 160 días; (UPRALacaune, 2005). Sin embargo, debemos tomar en consideración que este dato se refiere a la leche ordeñada sin incluir el amamantamiento y (Barillet et al., 2001) estimaron que la lactación completa podría estar entorno a los 350 l, dato de producción que sí se aproximaría más a la producción obtenida bajo condiciones intensivas de nuestra explotación.

Con respecto a la producción descrita para esta misma raza en otros países, la producción total por lactación de nuestra explotación concuerda con las descritas en Suiza y España bajo condiciones intensivas sin periodo de amamantamiento (Gil et al., 2003; Hernandez et al., 2011; Infocarne, 2011; Disposición 13976 del BOE núm 198 de 2011; Regli, 1999).

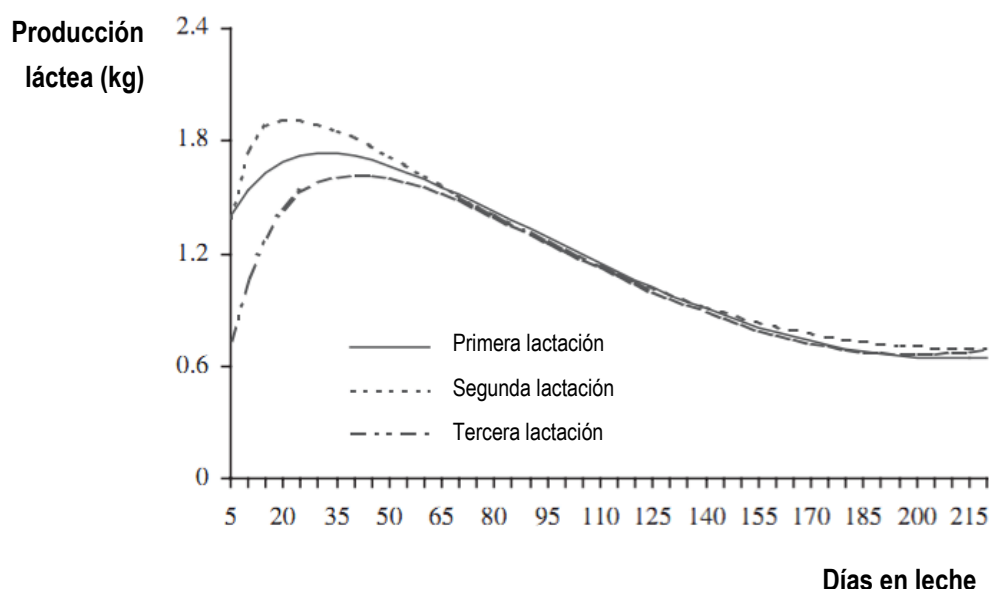


Figura 18. Estimación de la curva de lactación de la oveja lacaune bajo condiciones tradicionales de manejo (Oravcová et al., 2006)

Respecto al resto de parámetros que definen la curva, apenas disponemos de información previa de la raza con la que comparar, dado que la mayor parte de los estudios referentes a esta raza se han

realizado en el núcleo original francés y no es posible estudiar la curva de lactación cuando hay un periodo de amamantamiento. Sin embargo, Oravcová et al. (2006) realizaron la única estimación hasta nuestro conocimiento, de la curva de lactación de la oveja lacaune bajo condiciones tradicionales de manejo que incluía un periodo de amamantamiento de dos meses. En ella estimaban la curva de lactación para las lactaciones L1 a L3 (figura 18), y como se puede apreciar el nivel de producción y la D de la curva es muy inferior a los resultados de la explotación bajo condiciones intensivas de producción objeto del presente estudio (figura 16).

Sin embargo, sí podemos comparar con las principales razas ovinas lecheras utilizadas a nivel mundial bajo condiciones intensivas, las razas israelitas assaf y awassi mejorada (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004).

Tal y como se puede ver en la figura 19, en una primera evaluación descriptiva de la forma de la curva de lactación global, vemos cómo la de la oveja lacaune de nuestro estudio sigue un patrón similar al de las dos razas lecheras más productoras y más frecuentemente importadas en nuestro país para la producción láctea: awassi y assaf. De hecho, la curva LG obtenida en nuestro estudio es prácticamente paralela a la descrita por Gootwine y Pollott (2000) para la oveja awassi mejorada en Israel, aunque con una menor producción. Sin embargo, se encuentra por encima de la curva de lactación descrita para la raza assaf en Israel (Pollott y Gootwine, 2004) (ver figura 19).

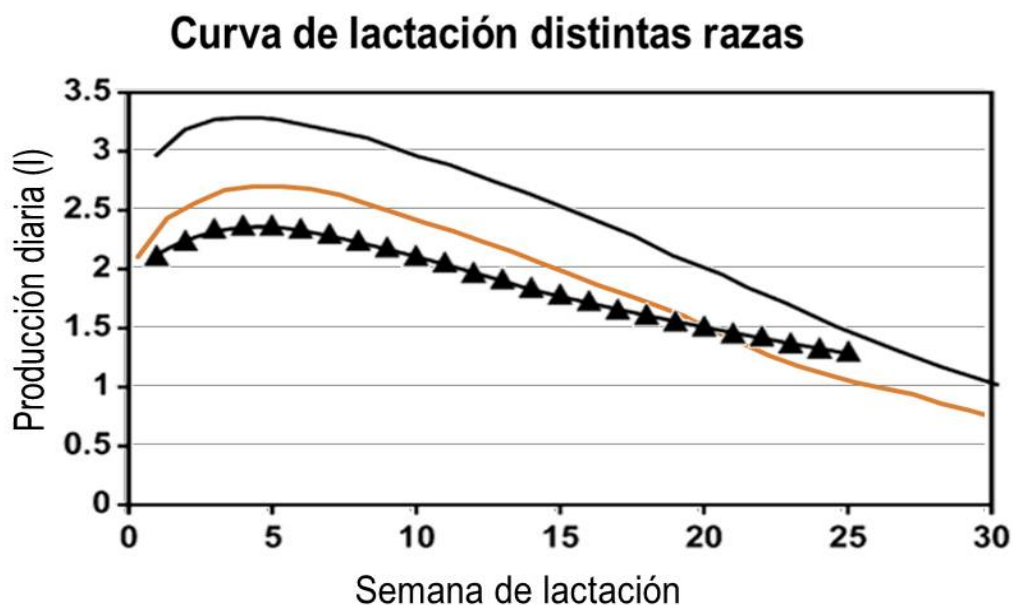


Figura 19. Comparación de las curvas de lactación “típicas” de la raza assaf ▲, awassi — (Pollott y Gootwine, 2004) y la curva global de la raza lacaune — de nuestro estudio

A continuación comparamos los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune bajo las condiciones de manejo de nuestro estudio, con respecto a los previamente descritos para la oveja awassi mejorada y assaf bajo condiciones igualmente intensivas de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004) (ver tabla 32).

Tal y cómo esperábamos, dado el patrón de las curvas de lactación globales de las distintas razas (figura 19), vemos en la tabla 32 cómo la PTL de las ovejas lacaune se situó en un rango intermedio entre la raza awassi mejorada y assaf de Israel (424,41 vs. 506 y 334 l, respectivamente). Igualmente, el PLmax y Tmax de la oveja lacaune se encuentra en un rango intermedio entre ambas razas israelitas. De modo que mientras que el PLmax de la oveja lacaune bajo las condiciones de nuestra explotación fue de 2,69 l, en las curvas de la oveja awassi mejorada y assaf israelitas de la bibliografía fue de 3,44 y 2,61 l, respectivamente (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). Finalmente, también la PerL y la D se encuentran en el rango intermedio entre ambas razas (PerL 14,64 vs. 15,3 y 11,3 ml/d; respectivamente) y (D 224 vs. 214 y 173 días, respectivamente).

Tabla 32. Media estimada para las principales características de la curva de lactación LG de la oveja lacaune de nuestra explotación estudio y de otras razas ovinas en régimen intensivo de producción (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004)

| Parámetro | lacaune | awassi | assaf |
|-----------|--------------------|-----------|-----------|
| PTL | 424,41±181 | 506±161 | 334±133 |
| D | 224±64 | 214±49 | 173±42 |
| Tmax | 34±26 | 45±20 | 24±12 |
| PLmax | 2,69±0,75 | 3,44±0,99 | 2,61±0,87 |
| PerL | 14,64 ¹ | 15,32 | 11,31 |

PTL= producción total de la lactación (l); D= duración de la lactación (días); Tmax = día en que se alcanza le PLmax; PLmax = pico de máxima producción láctea (l); PerL = persistencia de la producción a los 150 días de lactación¹ o en el punto medio de la lactación²

No obstante, a la hora de evaluar los resultados de las razas awassi y assaf debemos tomar en consideración que estas curvas son las “típicas” de la raza en pureza bajo las condiciones de explotación intensiva israelitas. De hecho, el nivel productivo de ambas razas en nuestro país, bajo nuestras condiciones de producción y tras su cruce con razas autóctonas para mejorar su adaptación es algo menor. En el caso de la raza awassi, aunque ésta se introdujo procedente de Israel en 1971 (Epstein, 1985) debido a problemas de adaptación a nuestro entorno fue necesario realizar cruces con nuestras razas autóctonas (castellana, churra o manchega) que dieron como resultado un híbrido F1 con

producciones superiores a los 400 l de media (Cambero Muñoz, 1999); pero no tan elevadas como las de la raza awassi mejorada de Israel (Gootwine y Pollott, 2000). Igualmente, en el caso de la raza assaf se realizaron cruces con razas autóctonas, principalmente castellana y manchega y en menor medida churra, dando lugar a lo que hoy en día conocemos como assaf española que cuenta con producciones estandarizadas a 150 días de 330 litros (FEAGAS, 2011). De modo que bajo el escenario productivo español los resultados obtenidos por la raza lacaune en la explotación objeto de estudio superarían las producciones descritas, tanto para la raza awassi como para la assaf española. De hecho, en la explotación objeto de nuestro estudio, inicialmente se introdujo en paralelo un rebaño assaf y otro lacaune; pero debido al superior comportamiento de las ovejas lacaune, con mayor nivel productivo, mayor facilidad de ordeño, mayor extracto seco y mayor homogeneidad productiva, optaron finalmente por la raza lacaune (datos no mostrados; Huertas *et al.* 2007).

En conclusión, se puede considerar que en esta explotación se consigue un elevado aprovechamiento del potencial productivo de la raza lacaune, condiciones que serían extrapolables a otros sistemas productivos en nuestro país o incluso, en otros países europeos.

4.4.2. Curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas en base al número de lactación

En las distintas razas de ovejas estudiadas, por lo general, la producción se incrementa con el número de lactación hasta alcanzar un máximo según la raza en la L3, L4 o L5 (Buxadé, 1996). De hecho, diversos trabajos con la raza latxa bajo condiciones de manejo semiintensivo, con periodo de amamantamiento del cordero, muestran cómo la máxima producción se alcanzaba en la L4 y L5 (Gabiña *et al.*, 1993; Ruiz *et al.*, 2000). También en la raza awassi mejorada y assaf Gootwine y Pollott (2000) observaron que el número de lactación influenciaba todos los parámetros de la curva de lactación bajo condiciones de manejo intensivas, induciendo un máximo de producción en la segunda y tercera lactación, comenzando a descender a partir de la cuarta lactación.

En la raza lacaune, los datos publicados sobre la curva de lactación son muy escasos y aún más los diferenciados por número de lactación. Tan sólo hemos encontrado un trabajo en el que se evalúan de forma diferencial las tres primeras lactaciones, estimándose una ausencia de diferencias significativas ($P>0,05$) de la PTL entre las tres primeras lactaciones (menor al 4%). Sin embargo, en él las condiciones de manejo son las tradicionales, con periodo de amamantamiento del cordero, motivo por el cual se trata de estimaciones y no de curvas reales (Oravcová *et al.*, 2006).

Disponemos sin embargo de estudios relativamente recientes, excepcionales y muy interesantes de la curva de lactación en las razas assaf y awassi mejorada en que sí se estudia la lactación completa de las

ovejas pertenecientes a explotaciones comerciales manejadas bajo condiciones intensivas de campo, sin amamantamiento del cordero, siendo el número de lactación uno de los factores que se evalúan (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004).

En el trabajo efectuado en la raza awassi mejorada, la producción total, la duración de la lactación y el pico de lactación fueron menores en la primera lactación, incrementándose hasta alcanzar un máximo en la segunda y tercera lactación, para posteriormente comenzar a disminuir progresivamente (Gootwine y Pollott, 2000).

Por otro lado, en el trabajo llevado a cabo en la raza assaf bajo condiciones intensivas la máxima producción se alcanzó también en la segunda lactación, descendiendo después paulatinamente en las lactaciones sucesivas, pero hubo un grupo de ovejas que presentaron la mayor producción ya en la primera lactación (Pollott y Gootwine, 2004). El descenso de producción a mayor número de lactación es explicado por los autores en parte por la menor D de la lactación al aumentar el número de lactación y en parte, por un menor potencial productivo. Y es que en las ovejas assaf, a medida que aumenta el número de lactación, la curva de lactación presenta un menor pico de producción y una menor persistencia, lo que da lugar a lactaciones más cortas y menos productivas.

Algo similar ocurre en nuestro estudio, sólo que es ya en la primera lactación cuando las ovejas lacauane alcanzan la máxima producción, tal y como describimos en un trabajo previo de nuestro grupo (Hernandez et al., 2011). De hecho, la PTL media y la D de la lactación desciende progresivamente a partir de la primera lactación a medida que se incrementa el número de lactaciones. Si bien el descenso entre la primera y segunda lactación no es muy marcado, la caída de producción es mucho más pronunciada a partir de la tercera lactación. En nuestro caso, la escasa diferencia en la producción láctea entre la primera y segunda lactación probablemente refleja el hecho de que la edad media al primer parto fue de $432,9 \pm 78,8$ días (14,4 meses), estando la ubre de las ovejas ya suficientemente desarrollada por tanto en la primera lactación. De hecho, ésta fue considerada la principal causa por la que las ovejas assaf alcanzaban la máxima producción bien en la primera o en la segunda lactación en el estudio de (Pollott y Gootwine, 2004). En este estudio se evidenció cómo la EPP (edad al primer parto) afectaba a la mayor parte de los parámetros de la curva de lactación de modo que a medida que las corderas eran cubiertas con mayor edad se incrementaba la producción al primer parto tanto de leche como de corderos por parte de las mismas. De hecho, las corderas que parían por primera vez más tarde presentaban menores producciones lácteas en la segunda lactación que en la primera ($P < 0,05$) lo que está en concordancia con nuestros resultados (Pollott y Gootwine, 2004).

El PLmax de la curva de lactación global y de cada lactación (L1 - L5) se alcanzó entre los días 27-48 postparto, según el número de lactación. Tras alcanzar el PLmax, la producción desciende

progresivamente hasta el final de la lactación. El valor máximo del PLmax se observa en la segunda y tercera lactación y descendió en las siguientes lactaciones. De modo similar a nuestro estudio, Oravcová et al. (2006) observaron un mayor PLmax en la segunda lactación que en la primera lactación en la oveja lacaune bajo condiciones tradicionales de manejo.

Nuestros resultados ponen de manifiesto cómo cada lactación sigue un patrón ligeramente diferente, probablemente debido a la biología de la glándula mamaria durante la lactación, el momento de instauración de la apoptosis y el desarrollo de las células secretoras (Pollott, 2000). Por tanto, se requieren futuras investigaciones a este respecto a fin de evaluar con mayor detalle las diferencias entre las distintas lactaciones de la oveja y se debe remarcar la importancia que tiene el diferenciar el orden de lactación en los estudios de factores que afectan a la productividad láctea de los animales, ya que se trata de una evolución distinta en cada lactación, y puede que los factores actúen de manera distinta, igualmente.

4.4.3. Curvas de lactación de la oveja lacaune agrupadas según su duración

A penas disponemos de trabajos previos que evalúan el efecto de la duración de la curva de lactación en ovino y sus resultados son contradictorios. Mientras que Ruiz et al. (2000) encontraron que las lactaciones más largas se asociaban a mayores producciones en la raza latxa bajo condiciones de manejo semiintensivo con amamantamiento del cordero, los trabajos de Gootwine y Pollott (2000) y Pollott y Gootwine (2004) en las razas israelitas awassi mejorada y assaf bajo manejo intensivo, la duración de la lactación no influenció la PTL.

En nuestro caso, con la raza lacaune, al igual que en el trabajo de Ruiz et al. (2000) en la oveja latxa, la longitud de la lactación mostró un claro efecto positivo sobre la producción láctea. De modo que las lactaciones LS, LM, LL y LXL presentaron claramente diferentes patrones de la curva de lactación y de los parámetros de la caracterizan. De modo que a medida que se prolonga la D de la lactación se incrementa progresivamente la PTL, CrP, PLmax y Tmax; y disminuye la PerL. De hecho, la PTL se incrementa de forma especialmente llamativa desde los 143,5 l en las de tipo LS, pasando por 318,52 l en LM y 482,43 l en LL; hasta alcanzar los 597,64 l en las lactaciones de tipo LXL (tabla 27).

Por otro lado, podemos detectar diferencias en la duración de la lactación en base al número de la misma (tablas 28 y 29). Mientras que las primeras lactaciones son generalmente prolongadas siendo mayoritariamente de tipo LL (45,62%) si bien un alto porcentaje son de tipo LXL (24,76%); en las ovejas más viejas (L4 y L5) predominan las lactaciones más cortas de tipo LM (44,01 y 47,40%,

respectivamente). Lo que confirma los datos previamente publicados sobre esta explotación (Hernandez et al., 2011) donde las ovejas descendían su producción a mayor edad.

En conclusión, podemos afirmar que la raza lacaune explotada bajo estas condiciones intensivas de manejo alcanza un rendimiento productivo excepcional, comparada con otras razas en regímenes de explotación similares; y muy superior a la misma raza lacaune o a otras razas explotadas en regímenes semiintensivos. Por otro lado, cabe remarcar las diferencias entre las curvas de producción según el orden de lactación del que se trata, así como las marcadas diferencias en la duración de las mismas, con una clara tendencia a empeorar al aumentar el número de lactación del animal, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de estudiar los posibles factores que influyen la productividad en la oveja lacaune.

5. Capítulo 2. Determinación del mejor ajuste matemático de la curva de lactación para la caracterización de la curva

5.1. INTRODUCCIÓN

La curva de lactación es un proceso biológico que puede ser explicado por medio de una función matemática. El ajuste de la curva mediante modelos matemáticos ha venido a solventar el problema ya tradicional de la falta de muestreos continuos, diarios e individuales de la producción láctea de los animales. Mediante el ajuste matemático apropiado podemos estimar la producción total, lo que tiene una utilidad primera, muy importante, que es la de poder predecir producciones futuras a partir de muestras parciales, o de lactaciones ya en curso. Igualmente, se pueden identificar los animales con mayor potencial productivo (Morant y Gnanasakthy, 1989). Esta valiosa información nos ayuda en la toma de decisiones para los programas reproductivos (Barillet y Boichard, 1994), y también en las estrategias de manejo a pie de granja (Sakul y Boylan, 1992). Finalmente, estos modelos son imprescindibles para estudiar después los factores que afectan a la producción lechera (Morant y Gnanasakthy, 1989).

Sin embargo, para poder disponer de información útil y fiable, es fundamental encontrar la función matemática que mejor describe la curva de lactación de la especie (ej: vacas, ovejas, cabras, búfalas...), la raza (ej: para ovejas serían awassi, assaf, churra...), la edad o número de lactación, la zona climática, así como el sistema de producción y manejo (ej: la misma raza holstein de vacuno lechero da lugar a un tipo distinto de curva de lactación bajo el sistema de manejo de Nueva Zelanda, extensivo con alimentación en base a pasto, y bajo el sistema de manejo canadiense, basado en sistemas intensivos, sin acceso a pasto (Bebbington et al., 2009; Tozer y Huffaker, 1999). Para el ajuste de las lactaciones se ha recurrido a numerosos modelos tanto lineales como no lineales (Masselin et al., 1987). Estos modelos se han desarrollado principalmente para el ganado vacuno (Grossman y Koops, 1988; Morant y Gnanasakthy, 1989; Pollott, 2000; Wood, 1967), pero se han aplicado con posterioridad a las principales razas ovinas lecheras: awassi (Pollott y Gootwine, 2000), assaf, latxa (Ruiz et al., 2000), lacaune (Oravcová et al., 2006), sarda (Cappio-Borlino et al., 1997; Carta et al., 1995), merina (Groenewald et al., 1995) o comisana (Portolano et al., 1996).

Por ello en este segundo capítulo seleccionamos el mejor modelo matemático de ajuste a la curva de lactación de la oveja lacaune, de entre once modelos matemáticos distintos descritos en bibliografía, efectuando para ello un estudio exhaustivo de dichos ajustes, y utilizando diversos criterios de comparación y evaluación de la bondad de los ajustes ya revisados en la introducción de la presente memoria.

5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

5.2.1. Población del estudio

Dado que este trabajo incorpora a su vez tres estudios o capítulos, la población objeto de estudio queda descrita en el apartado 2.1. del Capítulo 1.

5.2.2. Registro e incorporación de datos

En este segundo trabajo, se utilizó la misma base de datos del capítulo 1. Para poder comparar los resultados de nuestro estudio con otros trabajos, realizamos los ajustes de los modelos utilizando el día central de la semana ($t = \text{día} - 7 * \text{semana} - 3$; semana=1-40). De modo que se incluyeron finalmente, en este segundo estudio, un total de 201.281 registros semanales, con una media de 25,6 registros semanales por lactación, que se corresponden a un total de 7.873 lactaciones de 3.677 ovejas lacaune. A partir de la “curva real de lactación de la oveja lacaune” abreviada como LG, obtenida y descrita en el capítulo 1, calculamos las medias productivas para las semanas 1 a 40 de lactación, y se organizaron los datos para comparar y evaluar los ajustes matemáticos.

5.2.3. Análisis estadístico: ajuste de las curvas a los modelos matemáticos y evaluación de la bondad de los mismos

5.2.3.1. Ajuste de las curvas de lactación a los distintos modelos matemáticos elegidos para el estudio

Modelos de ajuste a curvas de lactación seleccionados en base a la bibliografía

De las numerosas funciones matemáticas propuestas para el ajuste de curvas de lactación seleccionamos para nuestro estudio inicial un total de 10 modelos matemáticos lineales, no lineales y multifase previamente descritos en la literatura: Wood, Wood lineal, Wood lineal equilibrado, Morant, Morant lineal, Morant lineal equilibrado, Grossman, Pollott Aditivo, Pollott Multiplicativo y varios modelos de Pollott Multiplicativo reducido (fórmulas descritas en la tabla 33).

Seleccionamos el modelo de Wood (Wood, 1967), así como su transformación a Wood lineal y Wood lineal equilibrado, dado que se trata del modelo clásico más frecuentemente utilizado para el estudio de curvas de lactación. También se eligieron para el estudio otros modelos que ya habían manifestado un buen ajuste a la curva de lactación de distintas razas de ovejas como fueron el modelo de Morant y

Gnanasakthy (1989), así como su transformación lineal y lineal equilibrada, así como el modelo multifase de (Grossman y Kooops, 1988) (Pollott y Gootwine, 2000).

Finalmente, incluimos los modelos de Pollott (2000), tanto aditivo como las versiones reducidas del modelo multiplicativo de tres y dos variables, dado que, además de haber sido aplicados previamente con gran éxito a otras razas ovinas, proporcionan parámetros con una interpretación biológica inmediata y se usan por ello en la actualidad y cada vez más frecuentemente en el estudio de registros lecheros (Albarran-Portillo y Pollott, 2008; Pollott y Gootwine, 2000) (más información respecto a los distintos modelos en punto 1.3.2.3.).

El ajuste de las funciones no lineales y las estimaciones de los parámetros se realizaron a través del método de mínimos cuadrados siguiendo el proceso iterativo del algoritmo de Marquardt del procedimiento para modelos no lineales PROC NLIN de SAS® (version 9.2, 2010, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) para buscar la solución con el “mejor ajuste” (SAS, 2010).

Ajuste de la curva de lactación a través de la estrategia denominada de polinomios fraccionales

Además, aplicamos por primera vez en el caso de ajuste a curvas de lactación en ovino una estrategia de ajuste de curvas denominada Técnica de ajuste de curvas de Polinomios Fraccionales (PF). Esta técnica considera diferentes transformaciones de la variable tiempo “ t ” para seleccionar los parámetros de la función matemática (Royston y Altman, 1994; Royston y Sauerbrei, 2008).

El conjunto de parámetros que logra un mejor ajuste a los datos reales se eligió mediante la selección del mejor subconjunto en base a los coeficientes de R^2 obtenidos aplicando un método de regresión lineal (más información en punto 1.3.2.3.5.). A pesar de que podíamos haber calculado una función PF específica para cada lactación, decidimos realizar el ajuste de todas las curvas con el mismo subconjunto de variables. En nuestro caso, obtuvimos un ajuste satisfactorio utilizando un subconjunto de cuatro parámetros con las siguientes transformaciones $\{t, \ln(t), t^{0.5}, t^2\}$. Por tanto, los coeficientes de la ecuación PF incluida en el presente estudio fueron: $k, k_1, k_0, k_{0.5}$ y k_2 (ver tabla 33).

Seguidamente, y con el objeto de determinar cuál de ellas proporcionaba el mejor ajuste a la curva de lactación de la oveja lacaune en condiciones de producción intensiva evaluamos la bondad de los modelos a través de distintos métodos.

Cabe destacar el hecho de que el resultado del ajuste de cada modelo a la curva real es una curva única, con un único subconjunto de parámetros. Por tanto, no es posible hacer análisis estadísticos comparativos entre los parámetros descritos para los distintos modelos en la tabla 34.

Tabla 33. Fórmula matemática de las 11 funciones matemáticas de ajuste a curvas de lactación seleccionadas para el estudio sobre la curva de lactación de la oveja lacaune lechera, bajo condiciones de manejo intensivo y número de parámetros incluidos en cada función

| Nombre de la curva | Función matemática | Nº parámetros |
|---|---|---------------|
| Wood $M_t = at^b e^{-ct}$ | | 3 |
| Wood lineal $\ln(M_t) = \ln(a) + b \ln(t) - ct$ | | 3 |
| Wood lineal equilibrado | (Wood lineal con M_t^2 equilibrada) | 3 |
| Morant $M_t = \exp(f + gt^p + ht^2 + i/t)t^p = (t - 150)/100$ | | 4 |
| Morant lineal $\ln(M_t) = f + gt^p + ht^2 + i/t$ | | 4 |
| Morant lineal equilibrado | (Morant lineal con M_t^2 equilibrado) | 4 |
| Grossman $M_t = a_1 b_1 [1 - \tanh^2(b_1(t - c_1))] + a_2 b_2 [1 - \tanh^2(b_2(t - c_2))]$ | | 6 |
| Pollott Aditivo $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - NO)/NO) \exp(-GR t))) - (MSL_{\max}/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR t)))$ | | 6 |
| Pollott Mult reducido (3 variables) $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - 0.9999999)/0.9999999) \exp(-0.1t))) \cdot (1/(1 + ((1 - NOD)/NOD) \exp(-DR t)))$ | | 3 |
| Pollott Mult reducido (2 variables) $M_t = (MS_{\max}/(1 + ((1 - 0.9999999)/0.9999999) \exp(-0.1t))) \cdot (2 - \exp(DR t))$ | | 2 |
| Polinomios Fraccionales $M_t = k + k_1 t + k_0 \ln(t) + k_{0.5} t^{0.5} + k_2 t^2$ | | 5 |

M_t = producción lechera diaria a día t . Par = parámetros; LG = lactación global; Li = número de lactación, $i=1$ a 5. (a , b y c) son los parámetros de la función de Wood (Wood, 1967); (f , g , h e i) son los parámetros de la función de Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989); (a_i, b_i, c_i donde $i = 1, 2$) son los parámetros de la función de Grossman (Grossman y Koops, 1988). MS , NO , GR , NOD , DR y MSL son los parámetros de las funciones de Pollott (Pollott, 2000) mientras que (k , k_1 , k_0 , $k_{0.5}$, k_2), son los coeficientes de la ecuación lineal PF

5.2.3.2. Evaluación de la bondad de los modelos desde un punto de vista matemático

Para evaluar la capacidad del ajuste de los modelos comparados y elegir el modelo más adecuado utilizamos diversos métodos o criterios.

Inicialmente aplicamos a los 11 modelos seleccionados en base a la bibliografía, el análisis de la media de cuadrados de los residuales (*RMS*) y de Durbin Watson con el fin de realizar una primera preselección de los modelos que lograban un mejor ajuste. A continuación, sobre los modelos preseleccionados determinamos adicionalmente: el coeficiente de determinación, el test de rachas, el valor de caracterización de orden- calidad y la *t* de Student y Wilcoxon a fin de identificar el modelo más adecuado para el ajuste de la curva de lactación de la oveja lacaune bajo producción intensiva.

A continuación se describen los distintos métodos utilizados para la evaluación de los modelos de ajuste (más información de los distintos métodos en el punto 1.3.2.2.1):

- Media de cuadrados de los residuales (*RMS*): mide la varianza residual entre los valores estimados por el modelo y los observados en la curva real
- Análisis de Durbin Watson (*DW*): mide la presencia de autocorrelación serial entre residuales para evaluar la aleatoriedad en la distribución de los residuales
- Coeficiente de determinación (R^2): mide la proporción de la varianza total que es explicada por el modelo
- Test de rachas o *Runs Test*: analiza la distribución aleatoria de los residuales derivados del ajuste del modelo
- *t* de Student y Wilcoxon: realiza comparaciones pareadas tanto paramétricas (*t* de Student) como no paramétricas (Wilcoxon) de las series de residuales de los modelos para determinar si la diferencia se debe o no al azar con una $P < 0,05$

5.2.3.3. Caracterización de la curva por parte de los modelos preseleccionados respecto a la curva “real” observada desde un punto de vista productivo

Una vez identificados los mejores modelos para el ajuste de la curva de lactación, y con el fin de caracterizar el ajuste proporcionado por estos modelos matemáticos seleccionados comparamos la curva de lactación observada (previamente descrita en el capítulo 1 como curva “real” de lactación de la oveja lacaune o LG) con la curva estimada por los distintos modelos preseleccionados en nuestro estudio. Así

podíamos hacernos una idea más pragmática de la cercanía del ajuste de las curvas a los datos reales de las mismas curvas.

Inicialmente, hicimos un estudio descriptivo de la forma de la curva estimada por los distintos modelos propuestos con respecto a la de la curva “real”, tanto global, como para cada lactación (L1-L5). Este análisis nos permitió comparar desde un punto de vista práctico el ajuste de los distintos modelos, tanto a nivel global, como para cada orden de lactación (ver figuras 21).

Seguidamente, determinamos los residuales absolutos y relativos. Los residuales absolutos se calcularon a través de la diferencia en litros entre la producción que predecía cada modelo y la producción real observada para cada semana de lactación (ver figura 25). Los residuales relativos se calcularon mediante el ajuste de los residuales absolutos con respecto a la producción observada en cada semana de la lactación, expresando el diferencial relativo en tanto por ciento (ver figuras 26 y 27).

Finalmente, estimamos los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación utilizando las funciones preseleccionadas y los comparamos con su valor observado (tablas 38 y 39):

- La producción total de la lactación (**PTL**) o producción láctea diaria acumulada hasta los 280 días de lactación. Se corresponde con la integral de la curva de lactación hasta el día 280
- El pico de máxima producción láctea (**PLmax**) indica el día/semana posparto (**Tmax**) en que se alcanza la máxima producción diaria. Se obtienen por tanto como la ordenada y abscisa en el punto donde la derivada de la curva $dPL(t)/dt$ se anula
- La persistencia de la producción (**PerL**), definida como la tasa de pérdida de producción láctea en ml/día a los 150 días en leche, que se corresponde a la derivada de la curva a los 150 días postparto

5.3.2.4. Interpretación biológica de la curva de lactación.

Los modelos matemáticos de tipo biológico (Pollott Aditivo, Multiplicativo y sus variantes reducidas) dieron lugar a los denominados parámetros biológicos que eran estimados para las distintas fórmulas matemáticas de los modelos. La interpretación de los parámetros biológicos de los modelos de Pollott nos permitió comparar los resultados entre distintas lactaciones. Cada parámetro se interpretaría de la manera ya mencionada en el apartado 1.3.1. de la introducción del presente texto (Pollott, 2000). De manera resumida, podemos señalar las siguientes definiciones:

- **MS** = máximo potencial secretor por día
- **NO** = producción máxima potencial al inicio de la lactación
- **GR** = tasa de proliferación de células secretoras durante la gestación y el inicio de la lactación
- **MSL** = máxima pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación
- **NOD** = proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación
- **DR** = tasa de reducción del número de células secretoras hasta el final de la lactación

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Ajuste de las diferentes funciones matemáticas a la curva de lactación LG y L1-L5

Tras realizar el ajuste de las funciones a través del método de mínimos cuadrados siguiendo el proceso iterativo del algoritmo de Marquardt del procedimiento para modelos no lineales PROC NLIN de SAS (SAS, 2010), obtuvimos las estimaciones de los parámetros de cada modelo tras el ajuste de las distintas funciones a la curva de lactación de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de manejo. En el caso de los modelos con interpretación biológica de Pollott fue necesario establecer una cota máxima de 4 al parámetro *MSL* para conseguir convergencias a valores asumibles que permitiesen realizar una interpretación biológica de los mismos. En la tabla 34 se describen los valores de los distintos parámetros de los distintos modelos, tanto para la lactación global como para los distintos números de lactación 1-5.

Tabla 34. Valores de los parámetros de los principales modelos para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global (LG)

| Modelo | | Lactación | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nombre | Par | LG | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
| Wood | a | 1,173 | 0,875 | 1,370 | 1,335 | 1,271 | 1,140 |
| | b | 0,352 | 0,415 | 0,314 | 0,342 | 0,335 | 0,359 |
| | c | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,012 | 0,013 | 0,014 |
| Morant | f | 0,927 | 0,728 | 1,147 | 0,902 | 0,921 | 0,739 |
| | g | 0,460 | 0,507 | 0,394 | 0,518 | 0,482 | 0,558 |
| | h | 0,013 | 0,012 | 0,012 | 0,016 | 0,016 | 0,018 |
| | i | 1,232 | 0,944 | 1,406 | 1,431 | 1,337 | 1,237 |
| Grossman | a₁ | 0,333 | 0,389 | 0,304 | 0,314 | 0,315 | 0,325 |
| | b₁ | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,011 | 0,012 | 0,013 |
| | c₁ | 1,034 | 0,487 | 1,099 | 1,076 | 1,000 | 0,927 |
| | a₂ | -0,103 | -0,801 | -0,209 | -0,111 | -0,189 | -0,119 |
| | b₂ | -0,325 | -0,329 | -0,265 | -0,397 | -0,402 | -0,487 |
| | c₂ | -1,314 | -1,637 | -1,393 | -0,961 | -1,023 | -0,893 |
| Pollott Aditivo | MS | 1,031 | 0,943 | 1,102 | 1,078 | 1,044 | 0,998 |
| | NO | -0,105 | 0,122 | -0,226 | -0,118 | -0,329 | -0,325 |
| | GR | -0,321 | -0,358 | -0,254 | -0,393 | -0,329 | -0,387 |
| | MSL | -1,272 | -1,377 | -1,391 | -0,968 | -1,353 | -1,421 |
| | NOD | 1,035 | 0,974 | 1,101 | 1,077 | 1,001 | 0,929 |
| | DR | -0,105 | 0,050 | -0,211 | -0,114 | -0,194 | -0,126 |
| Pollott Multiplicativo reducido 3 | MS | -0,323 | -0,326 | -0,263 | -0,395 | -0,398 | -0,481 |
| | NOD | -1,315 | -1,634 | -1,394 | -0,966 | -1,031 | -0,906 |
| | DR | 38,151 | 71,400 | 34,026 | 222,500 | 29,288 | 62,531 |
| Pollott Multiplicativo reducido 2 | MS | 0,023 | 0,018 | 0,025 | 0,009 | 0,025 | 0,021 |
| | DR | 27,922 | 33,668 | 28,557 | 72,451 | 21,052 | 18,221 |
| Polinomios Fraccionales | K | 250,000 | 209,200 | 281,800 | 50,993 | 222,400 | 148,100 |
| | k₁ | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,022 | 0,009 | 0,011 |
| | k₀ | 72,333 | 105,700 | 64,967 | 20,546 | 56,416 | 78,592 |
| | k_{0.5} | 3,802 | 3,578 | 3,935 | 3,666 | 3,242 | 2,922 |
| | k₂ | 0,675 | 0,604 | 0,685 | 0,719 | 0,724 | 0,722 |

Par= parámetros; LG= lactación global; Li= número de lactación, i=1 a 5. (a; b y c) son los parámetros de la función de Wood (Wood, 1967); (f, g h e i) son los parámetros de la función de Morant (Morant y Gnanasakthy, 1989); (ai,bi,ci donde i=1,2) son los parámetros de la función de Grossman (Grossman y Koops, 1988). MS, NO, GR, NOD, DR y MSL son los parámetros de las funciones de Pollott (Pollott, 2000) mientras que (k, k1, k0, k0.5,k2), son los coeficientes de la ecuación lineal PF *: el valor máximo del parámetro se restringió para el parámetro MSL=4 debido a discordancias con los valores esperados

5.3.2. Bondad del ajuste a las curvas de lactación lg y l1-l5 obtenido con los modelos matemáticos

5.3.2.1. Preselección de modelos en base al RMS y DW

Análisis de la media de cuadrados de los residuales (RMS)

El análisis de los RMS (tabla 35) puso de manifiesto cómo los modelos de Wood y Morant en sus formas lineal y lineal equilibrada no lograban mejorar el ajuste obtenido por el modelo convencional. Además, el modelo de Morant lograba siempre mejores resultados de ajuste que las funciones de Wood.

Tabla 35. Análisis de la bondad de ajuste según el RMS de los 11 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global

| Número de lactación | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | LG |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| RMS del modelo | Wood | 0,012 | 0,006 | 0,015 | 0,010 | 0,013 | 0,009 |
| | Wood lineal | 0,014 | 0,006 | 0,017 | 0,010 | 0,017 | 0,010 |
| | Wood lineal equilibrado | 0,010 | 0,005 | 0,012 | 0,009 | 0,011 | 0,008 |
| | Morant | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 ⁴ | 0,001 | 0,001 |
| | Morant lineal | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,001 |
| | Morant lineal equilibrado | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | Grossman | 0,002³ | 0,001³ | 0,001³ | 0,001³ | 0,001¹ | 0,001³ |
| | Pollott Aditivo | 0,001¹ | 0,000¹ | 0,001² | 0,001¹ | 0,001³ | 0,000¹ |
| | Pollott Mult reducido 3 | 0,025 | 0,015 | 0,010 | 0,008 | 0,007 | 0,015 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 0,045 | 0,033 | 0,040 | 0,045 | 0,047 | 0,033 |
| | Polinomios Fraccionales | 0,001² | 0,001² | 0,000¹ | 0,001² | 0,001² | 0,000² |

LG= lactación global; Li= número de lactación, i=1 a 5. Para cada lactación, los superíndices del 1 al 3 indican el orden de los modelos en base a la bondad del ajuste del RMS con respecto a la lactación real de la oveja lacaune, siendo el superíndice 1 el del modelo que proporciona el mejor ajuste

Por otro lado, los modelos de Pollott multiplicativo, tanto el convencional como sus versión reducida de 4 variables dieron lugar a malos resultados de ajuste, peores que los del modelo de Wood.

Las funciones no lineales de Wood y Morant y el modelo de Pollott reducido de 3 variables, junto con los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y Polinomios Fraccionales (PF) presentaron los menores valores de *RMS*. De estos últimos, el modelo de Wood y el de Pollott multiplicativo reducido de 3 variables dieron lugar al peor ajuste al presentar los mayores residuales en todas las lactaciones y en la lactación global, seguidos por el de Morant. En el otro extremo, los modelos de Grossman, PF y Pollott Aditivo dieron lugar a los mejores ajustes. Así, mientras que el modelo de Pollott Aditivo logró el mejor ajuste en las lactaciones L1, L2, L4 y global, quedó en tercera posición en la L5; por otro lado, el modelo PF obtuvo el mejor ajuste en la L3 y el segundo mejor ajuste en el resto de lactaciones; y finalmente, el modelo de Grossman dio lugar al mejor ajuste en la L5 situándose en el resto de lactaciones como el tercer mejor ajuste.

Análisis de Durbin Watson (DW)

El análisis de *DW* (tabla 36) no mostró signos obvios de aleatoriedad en la distribución de residuales de ninguno de los modelos.

Tabla 36. Análisis de la bondad de ajuste según el análisis de *DW* de los 11 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global

| Número de lactación | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | LG |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DW del modelo | Wood | 0,264 | 0,323 | 0,262 | 0,282 | 0,335 | 0,282 |
| | Wood lineal | 0,242 | 0,325 | 0,282 | 0,318 | 0,318 | 0,289 |
| | Wood equilibrado | 0,213 | 0,286 | 0,192 | 0,224 | 0,250 | 0,230 |
| | Morant | 0,764¹ | 1,060 | 0,893 | 0,632 | 1,442 | 0,834 |
| | Morant lineal | 0,469 | 1,023 | 0,901 | 0,629 | 0,828 | 0,751 |
| | Morant equilibrado | 0,762² | 1,063 | 0,901 | 0,638 | 1,443 | 0,8373 |
| | Grossman | 0,606 | 1,171² | 1,159¹ | 1,415¹ | 2,219² | 0,901¹ |
| | Pollott Aditivo | 0,637³ | 1,331¹ | 1,131² | 1,111² | 1,775³ | 0,867² |
| | Pollott Mult reducido 3 | 0,245 | 0,376 ⁵ | 0,407 | 0,477 ⁴ | 0,632 | 0,320 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 0,174 | 0,221 | 0,157 | 0,133 | 0,139 | 0,199 |
| | Polinomios Fraccionales | 0,632 | 1,079³ | 1,065³ | 0,869³ | 1,866¹ | 0,678 |

LG= lactación global; Li= número de lactación, i=1 a 5. Para cada lactación, los superíndices del 1 al 3 indican el orden de los modelos en base a la bondad del análisis de *DW* con respecto a la lactación real de la oveja lacauene, siendo el superíndice 1 el del modelo que proporciona el mejor ajuste

Los tres modelos con valores de DW más próximos a 2, y por tanto, los que mostraron una mayor aleatoriedad en la distribución de residuales fueron, al igual que en el caso del estudio de los RMS las funciones no lineales de Grossman, Pollott Aditivo y PF. Estos modelos ocuparon siempre las primeras tres posiciones: el modelo de Grossman fue el primero en las lactaciones L3, L4 y LG, ocupando el segundo lugar en la L2 y L5 y el tercer lugar en la L1; mientras que el modelo de Pollott Aditivo ocupó la primera posición en L1 y L2, la segunda en L3, L4 y LG, y la tercera en L5; y el modelo PF fue el primero en L5, el segundo en L1 y el tercero en el resto de lactaciones. A distancia, hubo distintos modelos que ocuparon la cuarta y quinta posición en alguna de las lactaciones: Morant, Morant lineal, Morant lineal equilibrado, Pollott multiplicativo y Pollott multiplicativo reducido de 3 variables.

5.3.2.2. Métodos adicionales de análisis de la bondad del ajuste aplicados a los modelos preseleccionados

A fin de lograr una mayor precisión a la hora de seleccionar el modelo óptimo para la curva de lactación de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción realizamos los siguientes análisis adicionales sobre los modelos preseleccionados según los resultados del RMS y el análisis de Durbin y Watson: Grossman, Pollott Aditivo, Pollott Multiplicativo reducido 2, reducido 3 y Polinomios Fraccionales.

Coefficiente de determinación o R^2

Todos los modelos obtuvieron valores muy altos del coeficiente de R^2 (tabla 37), lo que indica que las variables incluidas en los modelos explican gran parte de la varianza total. Los mejores modelos, con un 99% de precisión del R^2 , tanto para LG como para las lactaciones L1-L5, resultaron ser los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y PF.

Tabla 37. Análisis de la bondad de ajuste según el análisis de R^2 de los 13 modelos matemáticos seleccionados inicialmente en base a la bibliografía para cada curva de lactación (L1-L5) y para la curva de lactación global (LG)

| Número de lactación | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | LG |
|---------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R^2 del modelo | Grossman | 0,997 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| | Pollott Aditivo | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 0,959 | 0,980 | 0,989 | 0,990 | 0,991 | 0,980 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 0,923 | 0,957 | 0,956 | 0,943 | 0,937 | 0,955 |
| | Polinomios Fraccionales | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |

LG= lactación global; Li= número de lactación, $i=1$ a 5.

Test de rachas o Runs Test

El test de rachas se llevó a cabo para determinar si los valores residuales se distribuían de manera aleatoria. La presencia de significación indica ausencia de aleatorización en la distribución de los residuales.

Tabla 38. Resultado del test de rachas de los modelos preseleccionados. La presencia de significancia indica ausencia de aleatorización

| Número de lactación | | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | LG |
|----------------------------------|-------------------------|------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|
| Test de rachas del modelo | Grossman | | 0,000 | 0,007 | 0,003 | 0,164 | 0,885 | 0,002 |
| | Pollott Aditivo | | 0,164 | 0,262 | 0,001 | 0,038 | 0,873 | 0,037 |
| | Pollott reducido 3 | Mult | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,013 | 0,000 |
| | Pollott reducido 2 | Mult | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | Polinomios Fraccionales | | 0,016 | 0,007 | 0,041 | 0,268 | 0,582 | 0,018 |

LG= lactación global; Li= número de lactación, i=1 a 5. En negrita quedan marcados los mejores modelos según este test, aquellos con menor significancia (Grossman, Pollott Aditivo y PF).

Por tanto, a mayor valor de P, mejor es el ajuste. Así pues, los resultados pusieron de manifiesto que los modelos de Pollott Aditivo y PF mostraban aleatorización de sus residuales en la mayoría de las lactaciones (tabla 38). Por tanto, las funciones de Pollott Aditivo y PF mostraron valores similares de residuales y de aleatorización por lo que su ajuste podría ser considerado extremadamente preciso.

t de Student y Wilcoxon

El análisis efectuado con la prueba t de Student mostró ausencia de diferencia estadística en las series de residuales al comparar los modelos PF y Pollott Aditivo ($P=0,871$). El resto de comparaciones entre modelos fueron significativas $P<0,05$ (tabla 39).

Por otro lado, el test de Wilcoxon determinó que el residual de los modelos multiplicativos de Pollott era 37 veces más grande, mientras que el de Pollott Aditivo era 3 veces mayor.

Finalmente, tras aunar los resultados de los distintos métodos de evaluación de la bondad de ajuste de los distintos modelos preseleccionados, los modelos de Pollott Aditivo y PF fueron considerados como los que logran un ajuste más preciso desde el punto de vista matemático, a la curva de lactación de la oveja lacaune.

Tabla 39. Resultado de la prueba *t* de Student y Wilcoxon entre las series de los valores absolutos de los residuales mediante comparaciones pareadas entre los modelos

| Modelo | <i>t</i> de Student | | | Wilcoxon | |
|--|---------------------|------|--------------|----------|--------------|
| | Media | S | P | Z | P |
| Pollott Aditivo vs PF | 0,00 | 0,01 | 0,871 | -,215a | 0,830 |
| Pollott Aditivo vs Grossman | -0,01 | 0,02 | 0,010 | -2,608a | 0,009 |
| Pollott Aditivo vs Pollott Mult reducido3 | -0,06 | 0,09 | 0,000 | -5,242a | 0,000 |
| Pollott Aditivo vs Pollott Mult reducido2 | -0,12 | 0,11 | 0,000 | -5,336a | 0,000 |
| PF vs Grossman | -0,01 | 0,02 | 0,019 | -2,433a | 0,015 |
| PF vs Pollott Mult 3 | -0,06 | 0,09 | 0,000 | -5,296a | 0,000 |
| PF vs Pollott Mult 2 | -0,12 | 0,11 | 0,000 | -5,350a | 0,000 |
| Grossman vs Pollott Mult reducido 3 | -0,05 | 0,08 | 0,000 | -5,027a | 0,000 |
| Grossman vs Pollott Mult reducido 2 | -0,12 | 0,10 | 0,000 | -5,430a | 0,000 |
| Pollott Mult reducido 3 vs Pollott Mult reducido 2 | -0,06 | 0,06 | 0,000 | -4,906a | 0,000 |

LG = lactación global; Li = número de lactación, $i = 1$ a 5. S estadístico de la prueba de *t* de Student y Z estadístico de prueba de Wilcoxon; En negrita queda marcada la ausencia de diferencia significativa entre las series de residuales de los modelos PF y Pollott Aditivo tanto en la prueba *t* de Student ($P=0,871$) como en la de Wilcoxon ($P=0,830$)

5.3.3. Bondad de ajuste de los modelos preseleccionados desde un punto de vista productivo: caracterización de la curva

5.3.3.1. Forma de la curva. Estudio descriptivo del ajuste de cada modelo respecto a las curvas “reales” LG y L1-L5

Con las curvas de lactación estimadas por los cinco modelos preseleccionados y la curva real observada, resulta fácilmente observable la bondad de ajuste de los distintos modelos tanto a la lactación global (figura 20) como a las distintas lactaciones (figura 21).

En la LG podemos evidenciar cómo los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y PF son los que logran un mejor ajuste a la curva real; mientras que los modelos de Pollott Multiplicativos reducidos a 3 y 2 variables no logran ajustar a la forma de la curva de lactación, especialmente en la fase inicial de la misma.

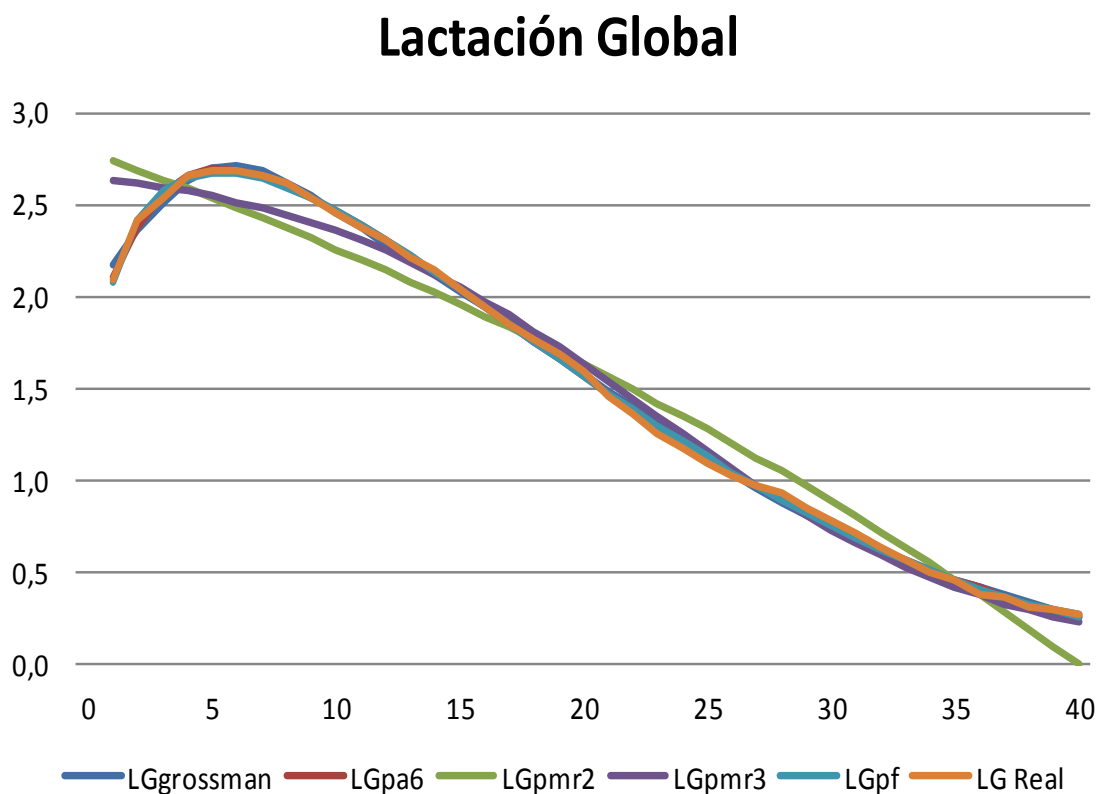


Figura 20. Producción láctea diaria (l) para cada semana de lactación a partir de los datos reales (7.873 lactaciones completas; LG) y la estimación por parte de los cinco modelos preseleccionados. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpnr2= LG modelo de Pollott Mult red 2 variables; LGpnr3= LG modelo de Pollott Mult red 3 variables; LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales y LGReal= curva LG “real” observada

La representación gráfica de las curvas estimadas por los distintos modelos preseleccionados para las lactaciones L1-L5 pone igualmente en evidencia la gran precisión de los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y PF con respecto a la curva “real”; a diferencia de los modelos de Pollott Multiplicativos que fracasan a la hora de ajustarse a la forma de la curva (figuras 21).

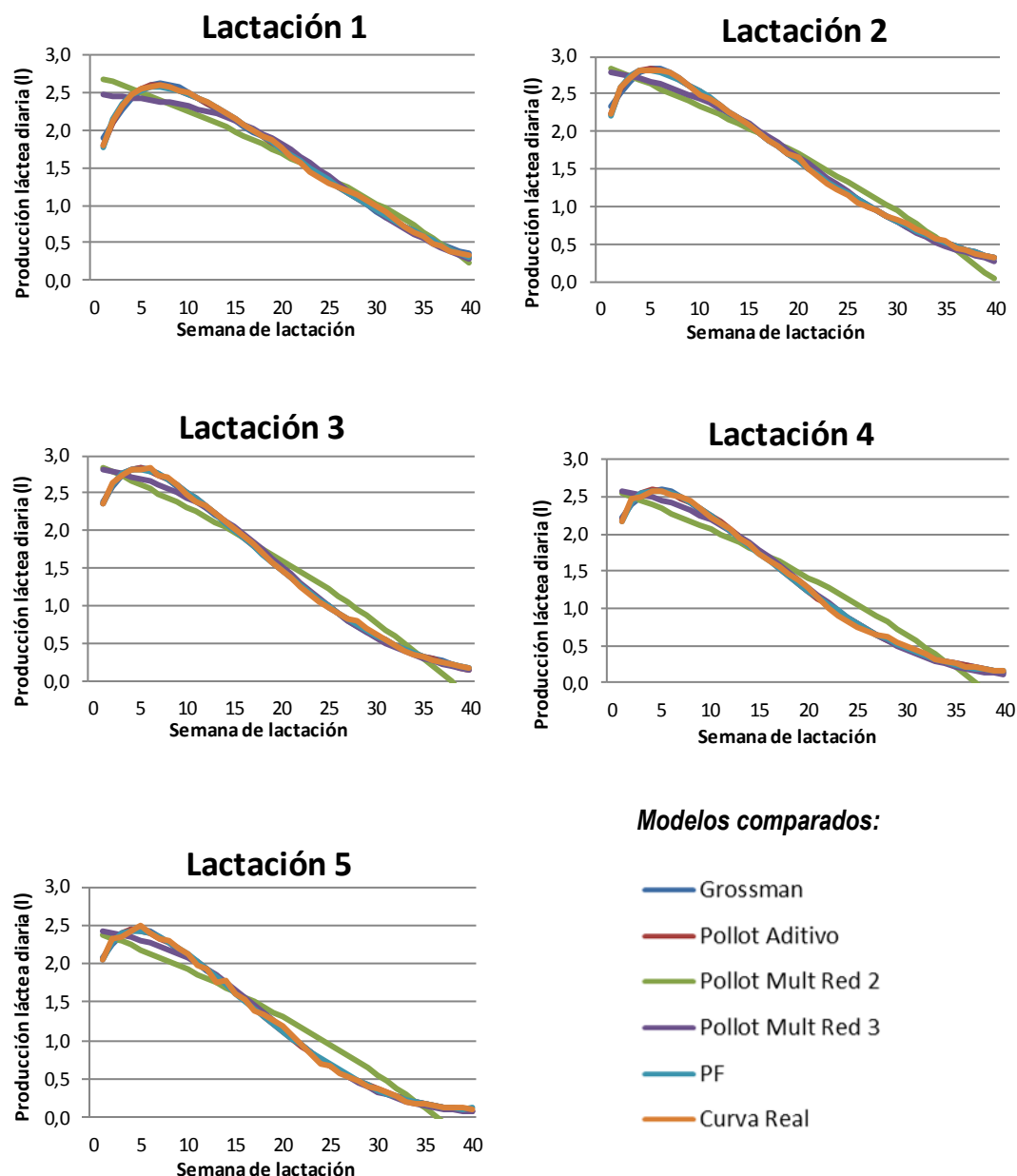


Figura 21. Producción láctea diaria (l) para cada semana de lactación a partir de los datos reales (2.718 primeras lactaciones (L1), 2.343 segundas (L2), 1.623 terceras (L3), 843 cuartas (L4) y 346 quintas lactaciones (L5) y la estimación de cada una de ellas por parte de los cinco modelos preseleccionado: Grossman, Pollott Aditivo, Pollott Multiplicativo reducido de 3 y 2 variables y Polinomios Fraccionales (PF)

5.3.3.2. Análisis descriptivo de la desviación entre la estimación del modelo y la producción semanal real observada en la lactación LG

El análisis descriptivo de los residuales absolutos, nos muestra la diferencia en litros entre el valor predicho por cada uno de los modelos preseleccionados para cada semana de lactación respecto al observado en la curva real (ajustado-observado).

La figura 22 muestra cómo los modelos de Pollott Multiplicativo reducidos a 3 y 2 variables mostraron los mayores residuales. Ambas funciones tendieron a sobreestimar la producción láctea al inicio de la lactación, hasta la cuarta semana; para a continuación subestimar la producción, hasta la semana 14 y 17 en las funciones reducidas de 3 y 2 variables, respectivamente.

Finalmente, la función reducida de 3 variables mejora bastante el ajuste al final de la lactación; mientras que la función reducida de 2 variables continúa mostrando los mayores residuales, sobreestimando la producción entre las semanas 19-34 para después subestimarla a partir de la semana 35.

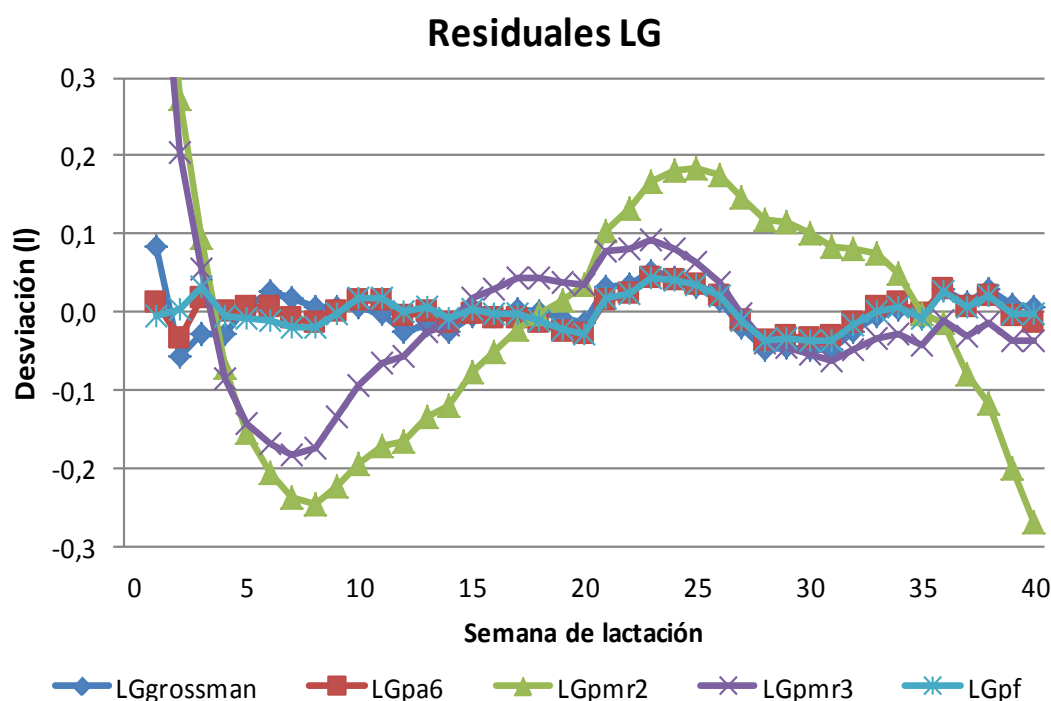


Figura 22. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpmr2= LG modelo de Pollott Mult reducido 2 variables; LGpmr3= LG modelo de Pollott Mult reducido 3 variables; LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales y LGReal= curva LG "real" observada

A continuación, calculamos los residuales relativos mediante el ajuste de los residuales absolutos con respecto a la producción observada en cada semana de la lactación, expresando así el diferencial relativo expresado en tanto por ciento (figura 23). Con ello pudimos evaluar la importancia relativa del residual en cada fase de la curva de lactación. En primer lugar, evidenciamos cómo el ajuste de los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y Polinomios Fraccionales presentaban un ajuste muy bueno: entre el 90-110%, siendo, por tanto, los errores de las distintas estimaciones fueron inferiores al 10% con respecto al valor observado. Por otro lado, los distintos modelos de Pollott Multiplicativo reducidos presentaban los mayores residuales al inicio de la lactación, sobreestimando la producción a lo largo de las primeras cuatro semanas hasta en más del 20%. Además, el modelo de Pollott Multiplicativo reducido de 2 variables volvía a presentar residuales relativos mayores al 10% entre la semanas 23 a la 33 y en la semana 40.

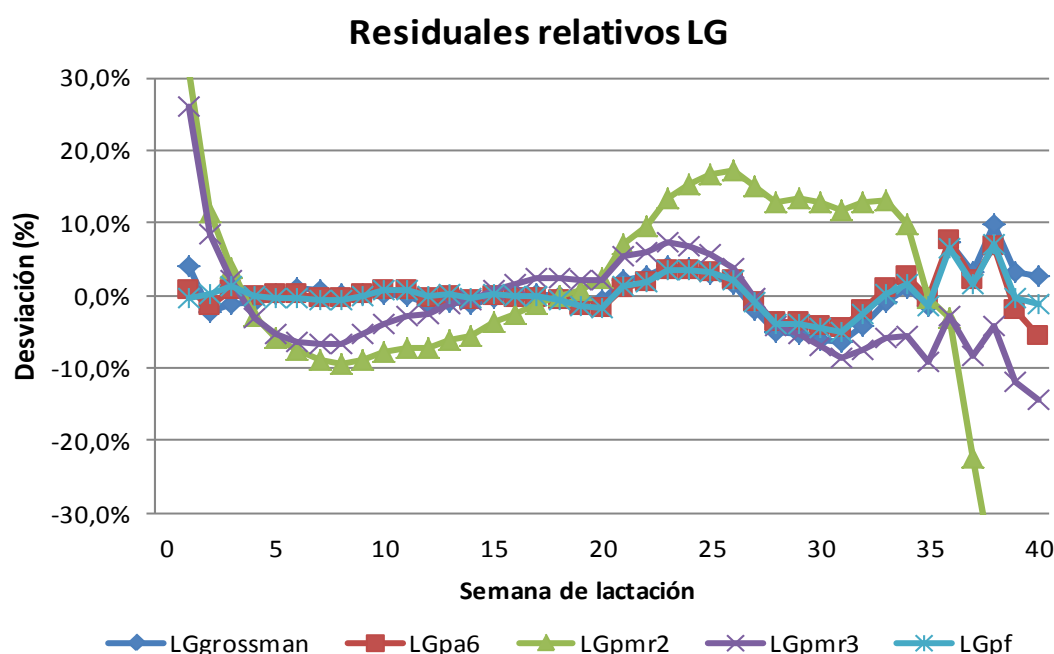


Figura 23. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman= LG modelo Grossman; LGpa6= LG modelo Pollott Aditivo; LGpmr2= LG modelo de Pollott Mult reducido 2 variables; LGpmr3= LG modelo de Pollott Mult reducido 3 variables y LGpf= LG modelo Polinomios Fraccionales.

Finalmente, para poder evaluar más detalladamente los tres modelos que presentaban el mejor ajuste hicimos una nueva representación eliminando los dos modelos de Pollott Multiplicativo reducidos y reajustando los ejes. Con ello pudimos ver cómo los modelos de Pollott Aditivo y Polinomios Fraccionales lograban un ajuste muy bueno en la primera fase de la lactación, siendo los residuales relativos menores

al 2%. Sin embargo, a continuación, aumentaban los residuales aunque sin superar en ningún caso el 10% de error. En cuanto al modelo de Grossman, éste presentaba residuales positivos al inicio de la lactación, sobreestimando la producción esperada hasta en un 4% en la primera semana para después lograr un ajuste similar al de los otros dos modelos, aunque con residuales relativos ligeramente superiores a lo largo de toda la lactación.

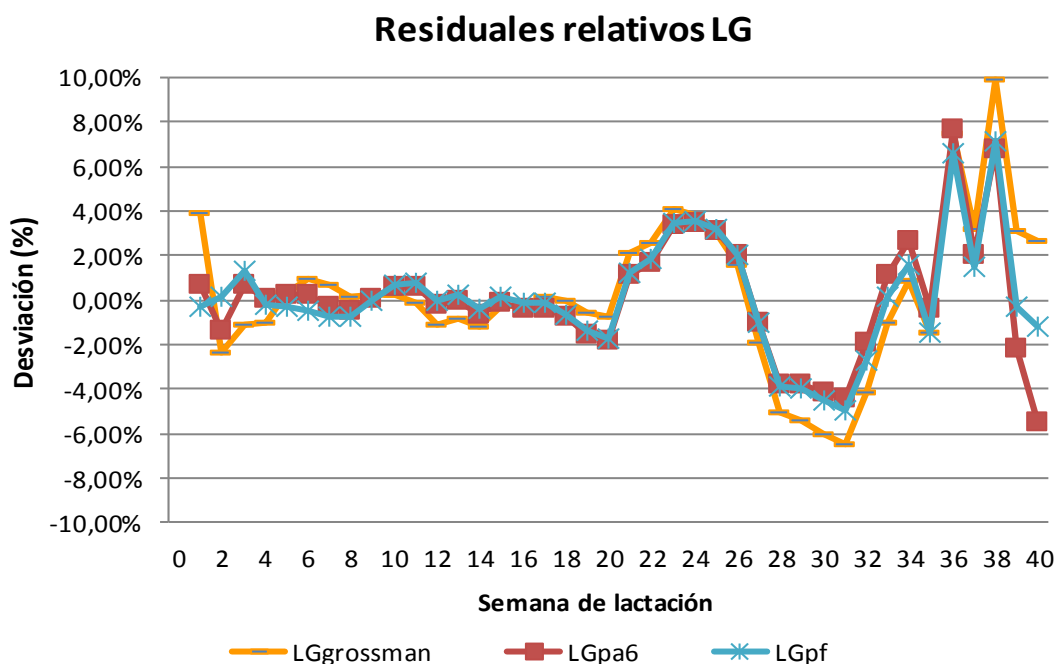


Figura 24. Residuales para cada semana de lactación de la lactación global (LG) calculados en base a la diferencia entre la estimación realizada por el modelo y el valor observado. LGgrossman = LG modelo Grossman; LGpa6 = LG modelo Pollott Aditivo y LGpf = LG modelo Polinomios Fraccionales

5.3.3.3. Principales parámetros de caracterización de la curva de lactación estimados por las funciones preseleccionadas para LG y L1-L5

A continuación, estimamos con los distintos modelos los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación: producción total de la lactación hasta el día 280 de lactación (PTL), pico de máxima producción láctea (PLmax), momento en que se da el pico de máxima producción (Tmax) y persistencia de la producción a los 150 días postparto (PerL) se estimaron aplicando las cinco funciones preseleccionadas y se compararon con los datos reales de la curva de lactación de la oveja lacauene (tablas 40 y 41).

Tabla 40. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la lactación global (LG) y la estimación obtenida mediante los cinco modelos matemáticos preseleccionados

| Número de lactación | Modelo | PTL (l) | PLmax (l) | Tmax (d) | PerL ^A (ml/d) |
|---------------------|-------------------------|---------------|-------------|-----------|--------------------------|
| LG (n=7873) | Curva real | 424,41 | 2,69 | 34 | 14,64 |
| | Grossman | 424,34 | 2,71 | 38 | 13,25 |
| | Pollott Aditivo | 424,30 | 2,70 | 34 | 12,76 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 423,13 | 2,64 | 1 | 13,67 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 424,57 | 2,75 | 1 | 10,10 |
| | PF | 424,17 | 2,70 | 34 | 12,79 |

LG= lactación global; PTL= producción total de la lactación; PLmax= pico de máxima producción láctea; Tmax= día en que se alcanza la PLmax; PerL= persistencia de la producción

A lo largo de toda la curva de lactación, las funciones de Grossman, Pollott Aditivo y PF fueron muy precisas a la hora de estimar los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune. Sus estimaciones de la LG tuvieron una desviación menor a 0,25 l de la PTL y obtuvieron una estimación del PLmax casi exacta, con una desviación menor a 0,02 l. Respecto a la Tmax, los modelos de Pollott Aditivo y PF acertaron el día (desviación = 0), mientras que el modelo de Grossman lo predijo cuatro días más tarde. Finalmente, los tres modelos subestimaron la PerL entre 1,4-1,9 ml/d, siendo la más certera la estimación de Grossman.

Respecto a los modelos de Pollott Multiplicativo reducidos, si bien éstos presentaron un ajuste aceptable de la PTL, PLmax y PerL; erraban completamente a la hora de ajustar la forma de la curva, tal y como habíamos podido evidenciar previamente en el análisis descriptivo de la misma donde ambos modelos fracasaron a la hora de dar forma a la fase inicial de la lactación. Así, tanto en la LG como en todas las lactaciones individuales, la Tmax de ambos modelos se situaba en el primer día de lactación, mucho antes de lo esperado, ya que en la de la curva observada ésta tiene lugar entre los días 27 – 48, según el número de lactación.

Tabla 41. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la curva real en las lactaciones L1-L5 y la estimación obtenida mediante los cinco modelos matemáticos preseleccionados

| Número de lactación | Modelo | PTL (l) | PLmax (l) | Tmax (d) | PerL ^A (ml/d) |
|---------------------|-------------------------|---------------|-------------|-----------|--------------------------|
| L1 (n=2718) | Curva real | 446,78 | 2,60 | 48 | 14,08 |
| | Grossman | 446,97 | 2,62 | 47 | 11,9 |
| | Pollott Aditivo | 446,67 | 2,60 | 43 | 11,93 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 445,88 | 2,47 | 1 | 12,02 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 446,38 | 2,71 | 1 | 9,05 |
| | PF | 446,56 | 2,58 | 44 | 12,10 |
| L2 (n=2343) | Curva real | 443,64 | 2,82 | 27 | 13,53 |
| | Grossman | 443,33 | 2,85 | 36 | 12,87 |
| | Pollott Aditivo | 443,51 | 2,83 | 30 | 12,70 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 442,38 | 2,80 | 1 | 13,38 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 443,94 | 2,85 | 1 | 10,33 |
| | PF | 443,16 | 2,81 | 30 | 12,63 |
| L3 (n=1623) | Curva real | 414,13 | 2,83 | 39 | 14,61 |
| | Grossman | 414,31 | 2,84 | 32 | 15,02 |
| | Pollott Aditivo | 414,01 | 2,83 | 29 | 14,36 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 412,99 | 2,81 | 1 | 15,64 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 414,71 | 2,86 | 1 | 11,31 |
| | PF | 414,02 | 2,82 | 30 | 14,06 |
| L4 (n=843) | Curva real | 362,00 | 2,59 | 32 | 17,14 |
| | Grossman | 361,75 | 2,6 | 31 | 13,33 |
| | Pollott Aditivo | 361,88 | 2,59 | 27 | 13,15 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 360,19 | 2,59 | 1 | 14,13 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 362,86 | 2,56 | 1 | 10,39 |
| | PF | 361,84 | 2,59 | 27 | 12,81 |
| L5 (n=346) | Curva real | 330,31 | 2,49 | 32 | 17,49 |
| | Grossman | 330,06 | 2,45 | 30 | 13,55 |
| | Pollott Aditivo | 330,20 | 2,44 | 26 | 13,10 |
| | Pollott Mult reducido 3 | 328,88 | 2,42 | 1 | 14,20 |
| | Pollott Mult reducido 2 | 331,26 | 2,40 | 1 | 10,06 |
| | PF | 330,29 | 2,44 | 28 | 12,64 |

L_i= número de lactación, *i*=1 a 5. PTL= producción total de la lactación; PLmax= pico de máxima producción láctea; Tmax= día en que se alcanza la PLmax; APerL. Persistencia de la lactación calculada a día 150 de lactación.

5.3.4. Selección definitiva de los mejores modelos de ajuste desde un punto de vista, tanto matemático como productivo.

Aunando todos los criterios y análisis aplicados para evaluar el ajuste de los distintos modelos, las funciones de Pollott Aditivo y PF fueron las que presentaron mayor bondad de ajuste con respecto a la curva real, tanto para la LG, como para las curvas L1-L5.

Desde el punto de vista matemático, valorando conjuntamente el RMS , DW , R^2 , test de rachas y test de Student y Wilcoxon, ambos modelos obtuvieron los mejores resultados. Igualmente, desde el punto de vista productivo, ambos modelos lograron el mejor ajuste, tanto al valorar el ajuste a la forma de la curva y las desviaciones con respecto a la misma; como en la estimación de los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación: PTL, PLmax, Tmax y PerL.

Por otro lado, ambos modelos presentaron distintas ventajas que los diferencian del resto de modelos matemáticos y que los pueden hacer más interesantes a la hora de su aplicación en los distintos contextos:

- ✓ El modelo PF presenta, desde un punto de vista de aplicabilidad, la gran ventaja de su facilidad de cálculo, sin que sea necesario el uso de ningún *software* específico, lo que le dota de gran practicidad de cara a su uso en granja
- ✓ El modelo de Pollott Aditivo presenta el valor añadido asociado a la posibilidad de realizar la interpretación biológica de sus parámetros, lo que nos permite realizar valoraciones adicionales de los resultados del mismo

5.3.5. Ajuste de los modelos preseleccionados a los distintos tipos de curva en base a su duración

A continuación realizamos un pequeño análisis para evaluar el ajuste de los modelos seleccionados para los distintos tipos de curva de lactación según su duración.

A lo largo de toda la curva de lactación, ambas funciones fueron bastante precisas a la hora de estimar los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacauene. Al comparar ambos modelos en los distintos tipos de lactación (LS, LM, LL y LXL) observamos que en las lactaciones tipo S, ambos mostraron la misma bondad en el ajuste. Sin embargo, el modelo PF logró mejor ajuste que el Pollott Aditivo para las lactaciones LM, L L y LXL.

Respecto a la bondad de ajuste matemático de ambos modelos según el RMS, la función de Pollott obtuvo valores menores en las lactaciones LS, LM y LXL. Sin embargo, los valores de ambos modelos fueron <0,01 para los ajustes de los distintos tipos de lactación.

Tabla 42. Comparación de los parámetros de caracterización de la curva de lactación de la oveja lacaune para la curva real en las lactaciones agrupadas en base a la duración de su lactación (LS, LM, LL y LXL) y sus estimaciones por los dos modelos seleccionados

| Número de lactación | Modelo | PTL (l) | PLmax (l) | Tmax (d) | PerL ^A (ml/d) | RMS |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------|--------------------------|---------|
| LS (n=486) | Curva real | 142,5 | 1,72 | 26 | | |
| | Pollott Aditivo | 141,6 | 1,73 | 22 | B | 0,00034 |
| | PF | 142,0 | 1,74 | 22 | | 0,00040 |
| LM (n=2685) | Curva real | 318,5 | 2,47 | 32 | 27,30 | |
| | Pollott Aditivo | 317,9 | 2,45 | 28 | 19,08 | 0,00380 |
| | PF | 318,4 | 2,48 | 34 | 17,20 | 0,00560 |
| LL (n=3231) | Curva real | 482,4 | 2,88 | 38 | 10,84 | |
| | Pollott Aditivo | 481,4 | 2,83 | 29 | 13,27 | 0,00808 |
| | PF | 481,4 | 2,85 | 30 | 12,27 | 0,00539 |
| LXL (n=1471) | Curva real | 597,6 | 3,03 | 46 | 6,30 | |
| | Pollott Aditivo | 597,4 | 3,00 | 38 | 9,18 | 0,00216 |
| | PF | 597,0 | 2,97 | 37 | 9,25 | 0,00294 |

Lactaciones agrupadas en base a su duración: cortas (LS) ≤19 semanas; medias (LM) ≤29 D ≥20 semanas; largas (LL) ≤39 D ≥30 semanas; extra largas (LXL) ≥40 semanas.

PTL= producción total de la lactación; PLmax= pico de máxima producción láctea; Tmax= día en que se alcanza la PLmax; APerL (persistencia de la lactación) calculada a día 150 de lactación; BPerL en el grupo S la persistencia no pudo ser calculada dado que la duración de estas lactaciones es inferior a 150 días

5.3.6. Interpretación de los parámetros biológicos estimados por el modelo de pollott aditivo para las distintas curvas LG y L1-L5.

La observación de los parámetros de Pollott (tabla 41) muestra cómo la biología de la ubre es distinta en las ovejas primíparas al compararlas con las siguientes lactaciones: menor proporción del número máximo de células secretoras que están presentes al inicio de la lactación (NO), menor tasa de proliferación de las células secretoras (GR) y menor proporción de células diferenciadas muertas al inicio

de la lactación (*NOD*); con un mayor potencial secretor máximo (*MS*) y pérdida de tejido secretor durante la lactación (*MSL*). Además, presentaban valores mínimos de tasa de reducción de células secretoras durante la lactación (*DR*), lo que indicaría una mayor persistencia de la lactación.

Por otro lado, observamos que el máximo potencial secretor (*MS*) es notablemente menor en las ovejas de más lactaciones (*L4* y *L5*); a pesar que es en estas lactaciones cuando la producción al inicio de la lactación está próxima al máximo potencial (*NO*). Además, la tasa de reducción del número de células secretoras a lo largo de la lactación (*DR*) se incrementa con el número de lactaciones. Todo ello explicaría que pese a la mayor producción inicial de las ovejas con mayor número de lactaciones, la producción total sea menor a partir de la segunda lactación. Por tanto, la principal causa por la que las ovejas de más lactaciones presentan una duración de la lactación menor y un potencial productivo reducido podría ser la reducción del potencial secretor (*MS*), junto con un mayor descenso de células secretoras en la ubre a lo largo de la lactación (*DR*).

Tabla 43. Parámetros del modelo de Pollott Aditivo para las lactaciones *LG* y *L1-L5*

| Lactación | Parámetros del modelo de Pollott Aditivo | | | | | |
|-----------|--|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | <i>MS</i> | <i>NO</i> | <i>GR</i> | <i>MSL</i> | <i>NOD</i> | <i>DR</i> |
| L1 | 3,58 | 0,604 | 0,068 | 4,00† | 0,141 | 0,012 |
| L2 | 3,93 | 0,685 | 0,089 | 4,00† | 0,178 | 0,014 |
| L3 | 3,67 | 0,719 | 0,084 | 3,77 | 0,127 | 0,016 |
| L4 | 3,24 | 0,724 | 0,095 | 3,23 | 0,112 | 0,019 |
| L5 | 2,92 | 0,722 | 0,104 | 2,94 | 0,087 | 0,021 |
| LG | 3,8 | 0,675 | 0,074 | 3,96 | 0,168 | 0,014 |

LG= lactación global; *Li*= número de lactación, *i*=1 a 5

MS = máximo potencial secretor; *NO*= proporción del número máximo de células secretoras que están presentes al inicio de la lactación; *GR*= tasa de proliferación de células secretoras; *MSL*=máxima pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación; *NOD*= proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación y *DR*= tasa de reducción del número de células secretoras durante la lactación

5.3.7. Interpretación de los parámetros biológicos estimados por el modelo de Pollott aditivo para las distintas curvas LS, LM, LL y LXL

Tal y como se puede observar en la tabla 44, al ajustar la función de Pollott Aditivo a las lactaciones clasificadas según su duración (LS, LM, LL y LXL), las lactaciones más cortas (LS) presentaron el menor potencial secretor y la menor proliferación de células secretoras, con un *NOD* de 0,102 y el mayor número de células secretoras a lo largo de la lactación. Las lactaciones LM presentaron la mayor proliferación de células secretoras y la menor proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación, con un valor de *MS* de 3,080. Las lactaciones de tipo LL presentaron el mayor valor de *NO* y *MSL*. Finalmente, las lactaciones más largas (LXL) presentaron el mayor potencial secretor (*MS* de 4), con la menor tasa de proliferación de células secretoras, la mayor proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación y la menor tasa de reducción del número de células secretoras durante la lactación (tabla 44).

Tabla 44. Parámetros del modelo de Pollott Aditivo para las lactaciones clasificadas en base a la duración de la lactación: LS, LM, LL y LXL

| Lactación | Parámetros del modelo de Pollott Aditivo | | | | | |
|------------|--|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| | <i>MS</i> | <i>NO</i> | <i>GR</i> | <i>MSL</i> | <i>NOD</i> | <i>DR</i> |
| LS | 2,323 | 0,716 | 0,082 | 2,514 | 0,102 | 0,030 |
| LM | 2,653 | 0,652 | 0,136 | 3,080 | 0,028 | 0,025 |
| LL | 3,226 | 0,662 | 0,129 | 4,000 | 0,061 | 0,014 |
| LXL | 4,000 | 0,652 | 0,077 | 3,098 | 0,199 | 0,013 |

Lactaciones agrupadas en base a su duración: cortas (LS) ≤ 19 semanas; medias (LM) ≤ 29 D ≥ 20 semanas; largas (LL) ≤ 39 D ≥ 30 semanas; extra largas (LXL) ≥ 40 semanas.

MS= máximo potencial secreto; *NO*= Proporción del número máximo de células secretoras que están presentes al inicio de la lactación; *GR*= tasa de proliferación de células secretoras; *MSL*=máxima pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación; *NOD*= proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación y *DR*= tasa de reducción del número de células secretoras durante la lactación

5.4. DISCUSIÓN

5.4.1. Bondad ajuste modelos desde punto de vista matemático

Aunando todos los criterios y análisis aplicados para evaluar el ajuste de los distintos modelos, las funciones de Pollott Aditivo y PF fueron las que presentaron mayor bondad de ajuste con respecto a la curva real, tanto para la LG, como para las curvas L1-L5.

El análisis de *RMS*, *DW* y R^2 mostraron cómo los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y PF presentaban el mejor ajuste con el menor *RMS*, el valor de *DW* más próximo a 2 y el mayor R^2 .

Tras la comparación de los valores de *RMS* de los distintos modelos, los residuales de las funciones de Pollott Aditivo y PF presentaron la menor asociación con el día de lactación (tabla 35), tal y como se había descrito anteriormente (Pollott y Gootwine, 2000). Sin embargo, a diferencia de lo descrito con anterioridad, obtuvimos mejores resultados aplicando la función de Pollott Aditiva que con los modelos de Pollott Multiplicativos. El modelo de la función multiplicativa original de cinco parámetros falló a la hora de converger en la estimación de los parámetros, dando lugar como resultado a valores arbitrariamente grandes y superiores al rango esperado después del ajuste. Las versiones reducidas de los modelos biológicos no mejoraron el ajuste de las lactaciones de la oveja lacaune. Morant y Gnanasakthy (1989) describieron problemas similares al tratar de ajustar sus datos con funciones no lineales.

Los valores de *RMS* observados fueron $<0,1$ en todos los casos y $<0,01$ en más del 50% de los casos (Tablas 35 y 39). Estos residuales fueron similares a los descritos en otros trabajos (Pollott y Gootwine, 2000; Ruiz et al., 2000), sugiriendo que ambos modelos (PF y Pollott Aditivo) logran un ajuste satisfactorio a los datos de la curva de lactación de esta granja y podrían ser de utilidad para futuros estudios de análisis de los factores que afectan a la curva de lactación de la oveja lacaune.

Al evaluar los valores de los parámetros de los distintos modelos, el modelo de PF se ajustó a los datos reales de modo semejante al modelo de Pollott Aditivo, pero sin dar lugar a ningún parámetro discordante, a diferencia de lo que ocurría en la función de Pollott aditiva para el parámetro *MSL* (máxima pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación) en las lactaciones 1 y 2 (ver tabla 43). La ligera diferencia de ajuste encontrada respecto a la función de Pollott aditiva y el claro peor ajuste de los modelos de Pollott Multiplicativos, probablemente refleja diferencias entre los distintos estudios. El principal podría ser que mientras en el estudio de Pollott y Gootwine (2000), donde se describen ambas funciones de Pollott (aditiva y multiplicativa) se examina un número de registros de producción limitado de las ovejas de raza awassi, nosotros utilizamos un número de registros por lactación muy extenso y en ovejas de raza lacaune.

A continuación aplicamos el test de rachas para determinar si la distribución de residuales era aleatoria y fueron los modelos de Pollott Aditivo y PF los que presentaron una aleatorización de residuales en la mayor parte de los números de lactación.

Finalmente, la comparación por pares de las series de residuales de ambos modelos con un test paramétrico (*t* of Student) dio como resultado ausencia de significancia entre ambos modelos PF y Pollott Aditivo ($P=0,871$), lo que ratifica ambos modelos como óptimos de ajuste de la curva de lactación de la oveja lacaune lechera, bajo condiciones de manejo intensivo.

5.4.2. Bondad del ajuste de los modelos desde el punto de vista biológico

Al realizar el análisis descriptivo mediante la representación gráfica de la curva de lactación real y de los distintos modelos preseleccionados y de los residuales absolutos y relativos de los modelos preseleccionados, tanto para la LG como para las lactaciones L1-L5, se puso en evidencia la gran precisión de los modelos de Grossman, Pollott Aditivo y PF con respecto a la curva “real”; a diferencia de los modelos de Pollott Multiplicativos que fracasaron a la hora de ajustarse a la forma de la curva (figuras 19-23). Igualmente, las funciones de Grossman, Pollott Aditivo y PF fueron muy precisas a la hora de estimar los principales parámetros de caracterización de la curva de lactación (ver tabla 40 y 41).

5.4.3. Selección del modelo más apropiado de ajuste

En base a los resultados de ajuste elegimos las funciones de Pollott Aditivo y PF para continuar el estudio de las curvas de lactación en la oveja lacaune bajo condiciones intensivas de producción.

Ambos modelos presentaron distintas ventajas que los diferencian del resto de modelos matemáticos y que los pueden hacer más interesantes a la hora de su aplicación en los distintos contextos:

- ✓ El modelo PF presenta, desde un punto de vista de aplicabilidad, la gran ventaja de su facilidad de cálculo, sin que sea necesario el uso de ningún *software* específico, lo que le dota de gran practicidad de cara a su uso en granja. El uso de modelos matemáticos complejos para el ajuste de curvas de lactación presenta serios retos, ya que las funciones más complejas pueden utilizar distintas combinaciones de valores para los parámetros que pueden o no reflejar la verdadera curva de lactación. Por ello, los modelos de ajuste de la lactación deberían contar con el menor número de parámetros posible siempre que sigan mostrando un buen ajuste a los datos (Bebbington et al., 2009)

- ✓ El modelo de Pollott Aditivo presenta el valor añadido asociado a la posibilidad de realizar la interpretación biológica de sus parámetros, lo que nos permite realizar valoraciones adicionales de los resultados del mismo

5.4.4. Interpretación de los parámetros biológicos

Nuestros resultados muestran cómo a medida que avanza el número de lactación varía ligeramente el patrón de la curva de lactación, lo que posiblemente se relaciona con la biología de la glándula mamaria durante la lactación, el momento de instauración de la apoptosis y el desarrollo de las células secretoras. Observando los parámetros de las funciones de Pollott, podemos concluir que la biología de la ubre de las ovejas primíparas es diferente, al compararla con las lactaciones sucesivas (menor *NO*, *GR* y *NOD*; con máximo *MS*, *MSL* y mínimo *DR*), siendo algo que ya apuntamos tras el estudio descriptivo del primer capítulo de la presente memoria.

Esto es debido probablemente al diferente metabolismo de la oveja de primer parto aún en crecimiento (Pollott y Gootwine, 2004). Observamos que el máximo potencial secretor (límite superior de la cantidad de leche que el animal es capaz de producir; parámetro *MS*) es notablemente inferior en las lactaciones 4 y 5, a pesar de que la ubre de las ovejas con mayor número de lactaciones es cercano al potencial productivo máximo al inicio de la lactación que las ubres de las más jóvenes (parámetro *NO*). En relación al potencial secretor de las células de la ubre, éste es claramente menor en la primera lactación y se va incrementando al aumentar el número de lactación de la 2 a la 5. A pesar del intento de la ubre de las ovejas de mayor número de lactaciones para mejorar la producción láctea, la producción final desciende a partir de la segunda lactación en adelante. Finalmente, el parámetro *DR* (descenso relativo del número de células a medida que la lactación progresa debido a apoptosis), se incrementa con el número de lactación. Por tanto, las principales razones para la menor duración y la pérdida de potencial productivo de leche en las ovejas con mayor número de lactaciones podría ser la reducción del potencial secretor junto al descenso progresivo del número de células galactopoyéticas de la ubre. Las condiciones anteriores podrían verse influenciadas no sólo por la edad, sino también por el nivel del aporte nutritivo, el cual puede verse influenciado a su vez por el momento de gestación, el padecimiento de infecciones intramamarias, etc. (Hernandez et al., 2014; Pollott, 2000).

En la explotación del presente estudio el nivel nutritivo y la presencia de infecciones intramamarias es similar en todas las ovejas en producción, estando la alimentación manejada de acuerdo al nivel de producción y sin realizar las ovejas pastoreo. En el momento en que las ovejas cuentan con más de 120 días posparto y producen menos de 1,5 l/día, pasan al patio con una ración menos energética. Las ovejas no tienen variaciones estacionales de consumo dado que el manejo es el de un sistema intensivo sin

pastoreo. De forma similar a lo que ocurre con el número de lactación, las diferentes longitudes de lactación también presentaron variaciones en las curvas de lactación. Presentaron curvas paralelas entre sí, pero en este caso la producción total de leche y el pico de máxima producción se incrementaron con la longitud de lactación.

En relación a la biología de la ubre, las ovejas con las lactaciones más cortas (LS) presentaron el menor valor de *MS* y *GR* con el mayor *DR*. Las lactaciones LM presentaron de forma interesante la mayor *GR* (proliferación de células secretoras) y la menor proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación (*NOD*), pero sin lograr superar el potencial productivo inicial. Las lactaciones de tipo LS tuvieron significativamente lugar más frecuentemente en las lactaciones 4 y 5; mientras que las lactaciones tipo LM predominaron en las lactaciones 3-5.

Los valores de los parámetros son distintos, lo que indica que las diferencias entre lactaciones no pueden ser explicadas exclusivamente por el número de lactaciones de las ovejas. Las lactaciones más largas (LXL) presentaron sorpresivamente la mayor proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación (*NOD*) y el mayor potencial secretor (*MS*), con la menor tasa de proliferación de células secretoras (*GR*). Por tanto, de modo similar al número de lactación, las lactaciones con mayores producciones (LL y LXL) presentaron los mayores valores de *MS* junto al menor *DR*. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que las dos principales condiciones de la fisiología de la ubre que afectan a la producción y a la duración de la lactación son el potencial secretor inicial y la apoptosis celular durante la lactación. Estos parámetros podrían depender principalmente de las características individuales, junto a la edad de la oveja, pero son necesarios futuros estudios que evalúen qué otros factores podrían influenciar la producción láctea a través del manejo, como la estacionalidad, momento de gestación, número de corderos nacidos, etc.

El análisis conjunto del número de lactación y la longitud de la lactación permite la predicción de la producción de la oveja. Por ejemplo, una oveja de segunda lactación con una producción por debajo de 2,0 l/día en la semana 10 probablemente no alcanzará el nivel de producción media de la explotación y podría interesar cubrirla más temprano o eliminarla del rebaño.

La aplicación de modelos que tomen en cuenta las variaciones asociadas a los distintos tipos de lactación permitiría la detección temprana de las ovejas con un menor potencial productivo, y que podrían ser manejadas con el objeto de optimizar la productividad anual de la explotación. Además, estos modelos permitirán futuros estudios sobre los factores que afectan a la producción láctea y a las características de la curva de lactación.

En conclusión, los resultados de este estudio han permitido identificar las funciones de PF y Pollott Aditivo (Pollott y Gootwine, 2000) como las más precisas y fáciles de aplicar a la curva de lactación de la oveja lacaupe de cara a predecir la producción láctea. El modelo PF, que aplica técnicas de regresión lineal múltiple (a partir de un subconjunto de transformaciones de la variable tiempo (t), resultó ser un método simple que puede utilizarse para ajustar cualquier curva de lactación (ej. de cualquier especie, número de lactación o longitud de la misma) cuando el objetivo sea lograr un buen ajuste y dispongamos de un amplio número de datos disponibles. Por otro lado, si queremos poder realizar interpretaciones biológicas de las funciones, o el número de registros disponibles es escaso, el modelo de Pollott Aditivo puede ser el más adecuado.

6. Capítulo 3. Estudio de los factores que afectan a la curva y por ende al potencial productivo de la oveja de raza lacaune

6.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de tipologías consiste en la agrupación de los individuos en clases o tipologías de modo que los miembros de una misma tipología son más parecidos entre sí en base a una o más características y más distintos de la población global. Su finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariantes para cada individuo u objeto estudiado a fin de alcanzar un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio, proporcionándonos información que los métodos estadísticos clásicos, como los modelos lineales generalizados (GLM) o los Análisis de Regresión univariantes, son incapaces de conseguir. Dado que este método permite incluir en el análisis numerosas variables, los datos completos de las distintas lactaciones (70 variables en nuestro caso) pudieron ser incluidos simultáneamente en el análisis.

Tras la agrupación en tipologías o clases, se pueden realizar análisis exploratorios que determinen las características específicas o diferenciales de cada tipología. Al no incluir en el análisis ninguna variable de interés para la futura caracterización del grupo, las tipologías encontradas pueden ser descritas como “naturales” o “reales”. Es decir, para determinar las tipologías no incluimos características relativas a la oveja misma, sino que sólo se incluye la información relativa a las curvas de lactación. Una vez determinados los tipos de curvas que hay, podemos analizar qué características tienen las ovejas que dan unos tipos de curvas u otros, explorando características que nos interesen especialmente, como por ejemplo la edad, la longitud del periodo seco anterior, el mes del parto que da lugar a esa lactación, etc. o características previamente recogidas en la bibliografía como factores de influencia en la producción. Recientemente esta técnica de tipologías o clusters ha sido utilizada con éxito para definir tipologías de las curvas de lactación en vacuno (Cardenas, 2009; Astiz et al., 2014) permitiendo identificar factores en los animales o el ambiente asociados con determinados tipos de curva de lactación.

La producción láctea se ve afectada por numerosos factores, los cuales han sido extensamente estudiados en el ovino, tanto bajo manejo tradicional (Oravcová et al., 2006; Peralta-Lailson et al., 2005; Ruiz et al., 2000), como bajo manejo intensivo (Pollott y Gootwine, 2000). Algunos factores previamente descritos se asocian a las características intrínsecas del animal incluyendo el potencial genético (Barillet et al., 2001) y características fisiológicas como el número de lactación (Gabiña et al., 1993; Pollott y Gootwine, 2004; Ruiz et al., 2000) o la prolificidad (Butler et al., 1981; Byatt et al., 1992; Gootwine y Pollott, 2000; Schoknecht et al., 1992). Otros factores son ambientales. Por ejemplo, los partos producidos al inicio de la primavera se han asociado con mayores producciones en las ovejas bajo manejo tradicional (Barillet, 1985; Carta et al., 1995; Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000). En animales manejados bajo condiciones intensivas (sin pastoreo), Gootwine y Pollott (2000) observaron diferencias

estacionales en la producción láctea asociadas al fotoperiodo: las producciones son mayores durante el último mes de gestación, cuando los días son más largos.

Por otro lado, se han descrito numerosos factores extrínsecos como el nivel nutricional durante la gestación, en especial durante el último tercio de la gestación (Bizelis et al., 2000; Byatt et al., 1992; Cannas et al., 2002; Charismiadou et al., 2000); el manejo reproductivo de las ovejas incluyendo la EPP (Hernandez et al., 2011), la duración del periodo seco (Hernandez et al., 2012) o la gestación (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004); el efecto positivo del amamantamiento de los corderos sobre la producción (Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000) o el estado sanitario de los animales, especialmente en relación a la presencia de infecciones intramamarias (Gonzalo et al., 2005; Hernandez et al., 2014; Leitner et al., 2008) (más información sobre los factores en el apartado 1.4.).

Un estudio detallado de los factores que afectan a la productividad de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas beneficiaría a los productores localizados fuera de la región de Roquefort, dado que por el momento, la información disponible sobre lactaciones completas de ovino lechero de la raza lacaune y los factores que afectan a la producción de esta raza bajo condiciones intensivas de producción es aún escasa. Por tanto, en el presente trabajo partiendo del modelo de ajuste de Pollott Aditivo descrito en el capítulo 2, aplicaremos el análisis de tipologías para investigar los factores que afectan a los parámetros de la curva y a la producción láctea con el objeto de establecer pautas de manejo que nos permitan mejorar la rentabilidad de las explotaciones de ovino lechero de raza lacaune bajo manejo intensivo.

6.2. MATERIAL Y MÉTODOS

6.2.1. Población del estudio.

La población objeto de estudio queda descrita en el apartado 2.1 del Capítulo 1.

6.2.2. Registro e incorporación de datos

En este tercer trabajo, se utilizó la misma base de datos del capítulo 2. A partir de estos datos “reales” o brutos se calcularon las medias productivas para las semanas 1 a 40 de lactación. Para poder comparar posteriormente los resultados de nuestro estudio con otros trabajos, realizamos los ajustes de los modelos utilizando el día central de la semana ($t = \text{día} - 7 * \text{semana} - 3$; semana=1-40). De modo que se incluyeron finalmente, un total de 201.281 registros semanales, con una media de 25,6 registros semanales por lactación, que se corresponden a un total de 7.873 lactaciones de 3.677 ovejas lacaune para el ajuste de distintos modelos matemáticos a la curva de lactación de la oveja lacaune bajo producción intensiva.

Según los resultados del estudio anteriormente descrito en el capítulo 2 las funciones matemáticas que mejor lograban ajustarse a las curvas de nuestras ovejas eran la de Pollott aditivo y la PF. Dado que la

primera nos permitía además el estudio de parámetros biológicos y dado que disponemos de programas matemáticos e informáticos complejos, decidimos continuar con el estudio de los factores que afectan a las características de la curva de lactación y a la producción láctea utilizando esta función de Pollott Aditivo. Para el análisis de factores que pudiesen afectar a la curva de lactación, junto a los datos de producción semanal a lo largo de la lactación, se registraron para cada lactación numerosos datos productivos y reproductivos a partir de los cuales se calcularon diferentes parámetros (ver tabla 43). Finalmente, las principales variables a la hora del análisis fueron:

Registros reproductivos: mes de nacimiento, mes de su primera concepción, mes del primer parto, edad en su primer parto, mes del último parto, mes de cada concepción y longitud de los periodos de secado.

Parámetros productivos:

- *De la lactación actual:* número de lactación, producción total en la lactación, duración en días de la lactación, longitud del periodo seco, producción media diaria, pico de máxima producción, día del pico y parámetros de persistencia (a día 70, 105 y 150).
- *De la lactación previa:* producción total en lactación anterior, duración en días de la lactación anterior, días seca en lactación anterior e intervalo entre partos previo.

Tabla 45. Variables descriptivas de cada curva de lactación de oveja lacaua lechera bajo condiciones intensivas de manejo, tanto datos registrados como parámetros calculados a partir de los anteriores

| Tipo de variable | Variable | Descripción de la variable |
|--|---------------------|---|
| R | Animal | Identificador de la oveja |
| CURVA DE LACTACIÓN | | |
| C | MS,NO,GR,MSL,NOD,DR | Parámetros del ajuste de la curva por Pollott Aditivo para esa lactación |
| C | seman1-sema70 | Valor del ajuste por Pollott Aditivo producción de leche del jueves de cada semana (*7-3), desde la semana 1 a la 70. |
| DATOS HISTÓRICOS DE LA OVEJA | | |
| R | Nacimiento | Fecha nacimiento de la oveja |
| R | FPP | Fecha del primer parto |
| C | EPP | Edad en días de la oveja en el primer parto |
| R | APP | Año del primer parto de la oveja |
| R | MPP | Mes del primer parto de la oveja |
| C | Mes_con1 | Mes de la primera concepción |
| R | MNac | Mes de nacimiento de la oveja |
| R | num_partos | Número total de partos que ha tenido la oveja |
| INFORMACIÓN SOBRE LA LACTACIÓN ACTUAL | | |
| R | indice_parto | Número de parto de la oveja |
| C | EDADact | Edad en el parto actual (días) |
| R | FP | Fecha del parto |
| R | PTL | Producción total de la lactación (litros) |
| C | DEL | Días de leche en la lactación |
| C | DPS | Duración del periodo seco (días) |
| C | PDEL | Producción media por día en lactación (litros/día) |
| C | IPP | Intervalo entre partos en días en esta lactación (días) |
| C | IPG | Intervalo parto-gestación en días en esta lactación |

| Tipo de variable | Variable | Descripción de la variable |
|---|-----------|---|
| R | anno_fp | Año del parto |
| C | Mes_c | Mes de la concepción |
| R | MP | Mes del parto |
| C | Edad | Edad de la oveja en el parto, FP-Nacimiento, en años. |
| C | Vida_prod | Años de la oveja productivos hasta el parto, FP-E1P/365, en años. |
| R | Cm | Mes de concepción. |
| R | Lgm | Último mes de gestación. |
| C | Pcm | Mes preconcepción. |
| C | LL | Longitud de la lactación en días. |
| C | PLmax | Producción en pico de máxima producción láctea |
| C | Tmax | Día del pico de máxima producción |
| C | Per150 | Persistencia en el día 150 de la lactación |
| C | Per105 | Persistencia en el día 105 de la lactación |
| C | Per70 | Persistencia en el día 70 de la lactación |
| C | PA120 | Producción acumulada (%) en el día 120 de la curva de ajuste |
| C | PA60 | Producción acumulada (%) en el día 60 de la curva de ajuste |
| C | DP50 | Día en el que se supera el 50% de la producción en la curva de ajuste |
| C | DP75 | Día en el que se supera el 75% de la producción en la curva de ajuste |
| C | DP90 | Día en el que se supera el 90% de la producción en la curva de ajuste |
| C | DP95 | Día en el que se supera el 95% de la producción en la curva de ajuste |
| INFORMACIÓN RELATIVA A LA LACTACIÓN ANTERIOR | | |
| R | P-PTL | Producción total de la lactación anterior. |
| R | P-PDEL | Días de leche en la lactación anterior. |
| R | P-DPS | Días secas en la lactación anterior. |
| C | P-IPP | Intervalo entre partos en días de la lactación anterior |
| C | P-IPG | Intervalo parto-gestación en días de la lactación anterior |
| INFORMACIÓN PRODUCTIVA ACUMULADA | | |
| C | PTLTot | Producción total en lactaciones anteriores |
| C | DLTot | Días de leche totales en lactaciones anteriores |
| C | DSTot | Días secas totales en lactaciones anteriores |
| C | IPGMed | Intervalos medio partos-gestación en lactaciones anteriores |
| C | IPPMed | Intervalos medio entre partos en lactaciones anteriores |
| C | PMed | Producción media, ProTot/DLTot, en lactaciones anteriores |
| C | DLMed | Días de leche medios, DLTot/cval, en lactaciones anteriores |
| C | DSMed | Días secas medios, DSTot/cval, en lactaciones anteriores |

R dato registrado; C variable calculada

6.2.3. Análisis de tipologías

6.2.3.1. Determinación de las clases o tipologías

El análisis de tipologías se realizó utilizando SPAD.N ("Système Portable pour l'Analyse des Données", version 5.6; DECISIA, France) basado en la idea de clasificar los objetos más relacionados entre sí de los que se diferencian (Hartigan, 1975) (ver el capítulo 1.5. para más información sobre las técnicas de análisis de tipologías). La estrategia utilizada para realizar el análisis de tipologías matemático fue de tipo mixto combinando técnicas divisivas y aglomerativas, método recomendado cuando se cuenta con un elevado número de casos para clasificar como ocurría en nuestro caso.

En total 7.788 lactaciones se incluyeron en el análisis de tipologías. Cada lactación se componía de un total de 70 datos semanales de producción láctea. De modo que utilizando la terminología matemática

trabajamos con 7.788 casos y 70 variables. El número de clases o tipologías se decide tras analizar el resultado del histograma y del árbol jerárquico.

Finalmente, seguimos un proceso de consolidación por el método de las k -medias tomando como partición inicial la obtenida por corte del árbol de agregación.

6.2.3.2. Descripción de las clases o tipologías

A continuación, realizamos la descripción de las características de cada tipología de curvas de lactación, según las variables que presentaron en ella medias superiores (o inferiores) a los valores medios en el conjunto total de los casos. En el caso de las variables categóricas (por ejemplo, mes de nacimiento, mes de parto, etc.) el método de caracterización de las tipologías se realizó en base a si la distribución de las frecuencias era mayor o menor a la frecuencia global. El nivel de significación de la diferencia entre el porcentaje en la tipología y el global se evalúa por comparación del valor T con una distribución normal $N(0,1)$ (Lebart et al., 1995). Dado el gran tamaño muestral del presente estudio, el nivel de significación se definió como $P < 0,001$, al objeto de mejorar la robustez del análisis.

6.3. RESULTADOS

6.3.1. Caracterización del rebaño

Las características productivas y reproductivas de las lactaciones incluidas en el análisis final fueron las siguientes: edad al primer parto (EPP) $432,9 \pm 77,4$ d; 14,4 meses; edad media de las ovejas $3,22 \pm 1,07$; intervalo parto parto (IPP) 302 ± 65 d; producción media (PTL) 434 ± 183 l; longitud del periodo seco (DS) $62 \pm 49,6$ d y duración media la de lactación (DEL) 234 ± 63 d.

6.3.2. Análisis de tipologías: tipos de lactación

El número de clases o tipologías deducido tras el proceso de agregación que describe el árbol jerárquico (figura 25) y el histograma de los índices de agregación (figura 26), sugirieron que el óptimo número de tipologías era de cuatro. En base a las características (longitud y área bajo la curva; ej: producción láctea) de la curva de lactación media de cada tipología, las denominaciones de cada tipología fueron las siguientes:

- ✓ Lactaciones cortas y poco productivas (improductivas) (LSI)
- ✓ Lactaciones cortas y normales (LMN)
- ✓ Lactaciones largas y productivas (LLP)
- ✓ Lactaciones largas y muy productivas (LXLP)

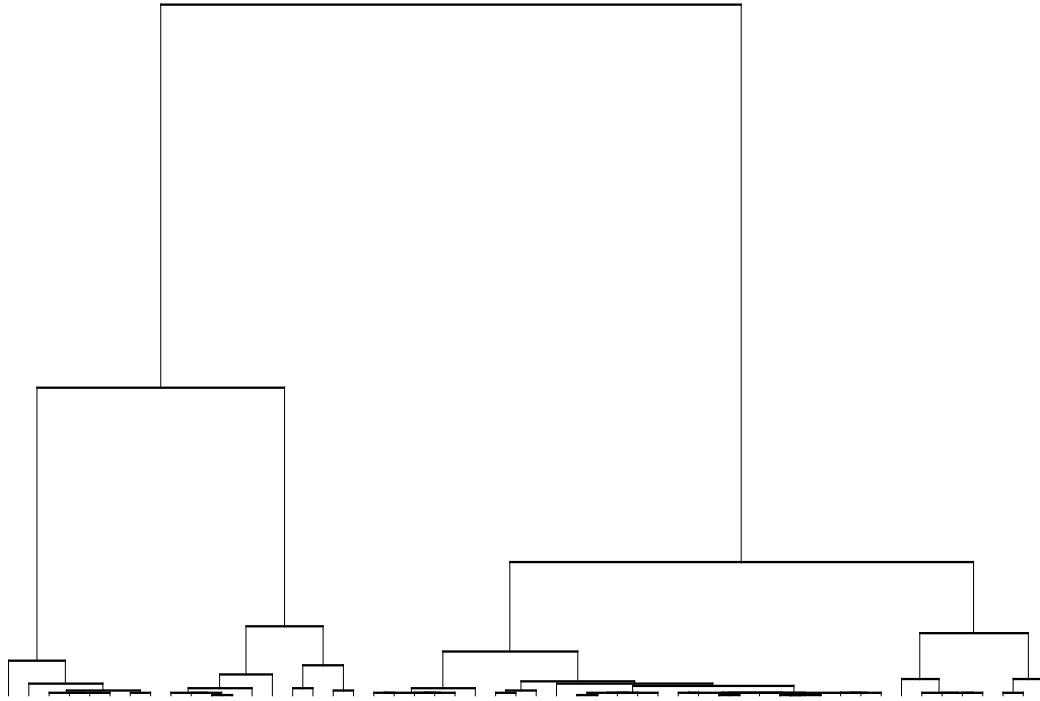


Figura 25. Árbol jerárquico obtenido tras realizar el análisis de tipologías incluyendo los valores medios semanales de 7.788 lactaciones completas de ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo. Se diferenciaron claramente cuatro tipologías o cluster

En base a los resultados del análisis se definieron las siguientes cuatro tipologías:

- ✓ **Lactaciones cortas y poco productivas o improductivas (LSI)** con duración ≤ 23 semanas y producción $\geq 0,5$ l/día (n=2.137) 27,4% del total
- ✓ **Lactaciones cortas y normales (LMN)** con duración ≤ 27 semanas y producción $\geq 0,5$ l/día (n=2.039) 26,2% del total
- ✓ **Lactaciones largas y productivas (LLP)** con duración ≤ 37 semanas y producción $\geq 0,5$ l/día (n=2.169) 27,9% del total
- ✓ **Lactaciones largas y muy productivas (LXLP)** con duración ≤ 43 semanas y producción $\geq 0,5$ l/día (n=1.443) 18,5% del total

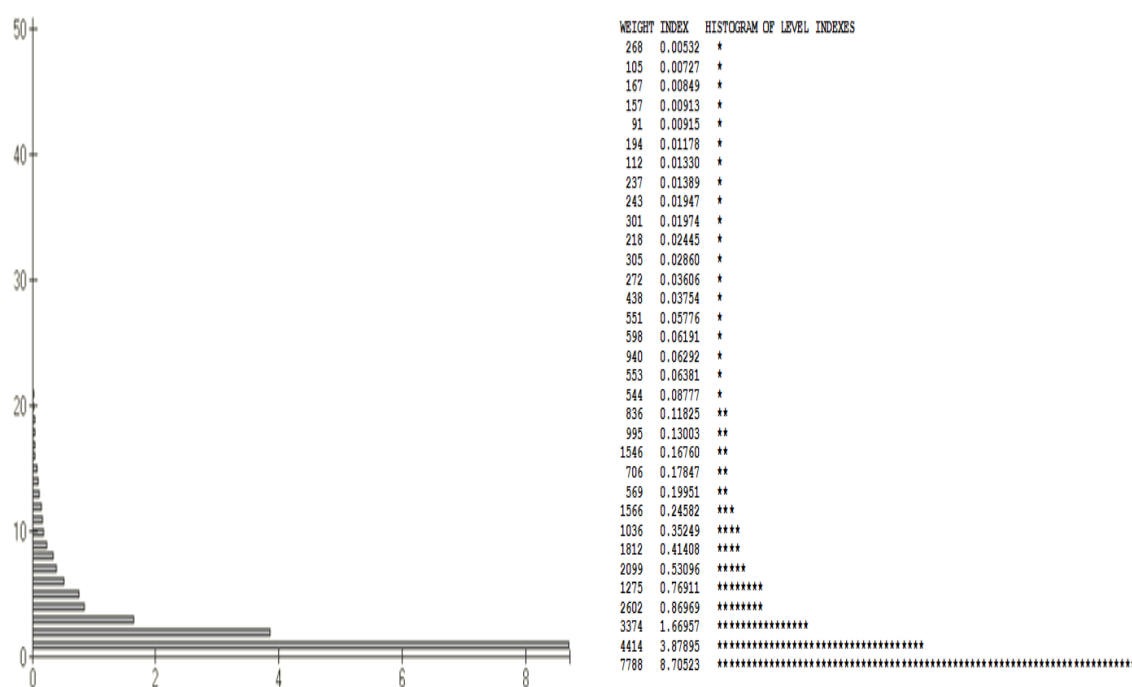


Figura 26. Histograma de los índices de agregación obtenido tras realizar el análisis de tipologías incluyendo los valores medios semanales de 7.788 lactaciones completas de ovejas lacaune bajo condiciones intensivas de manejo

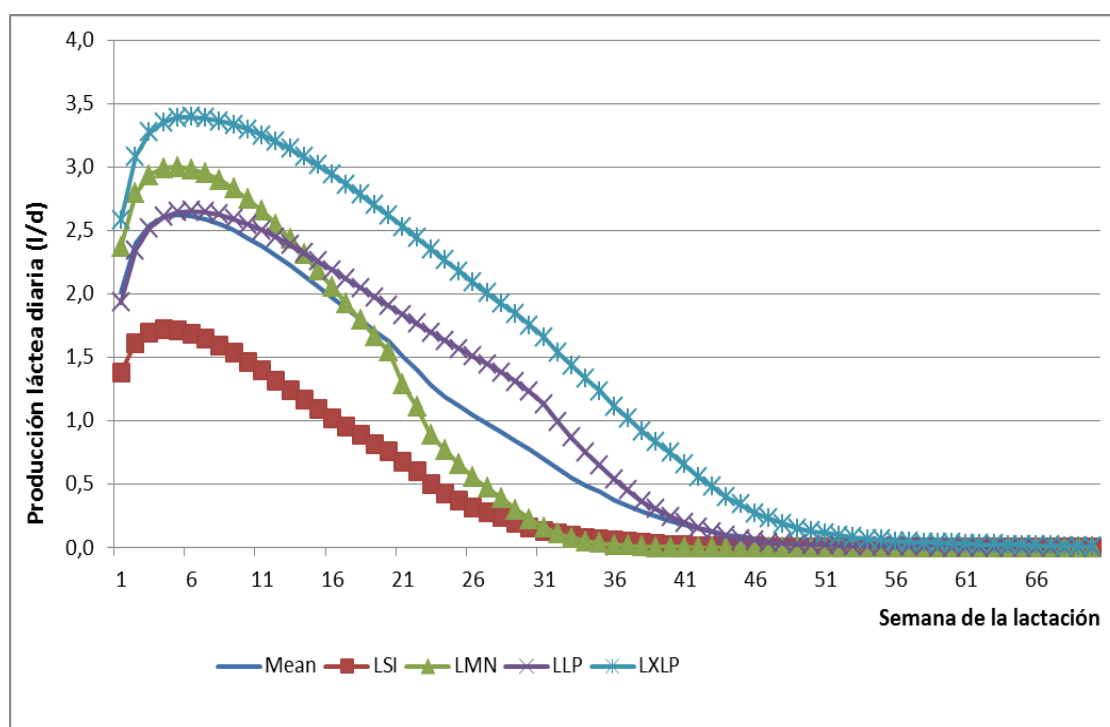


Figura 27. Curva de lactación media de cada tipología identificada por el análisis de tipologías de las 7.788 lactaciones de ovejas lacaune bajo manejo intensivo. Las siguientes tipologías fueron identificadas: LSI= lactaciones cortas e improductivas (n=2.137); LMN= lactaciones cortas y producción normal (n=2.039); LLP lactaciones largas y productivas (n=2.169); LXLP lactaciones largas y muy productivas (n=1.443) y Mean que es LG= lactación media

6.3.3. Caracterización de las curvas de lactación

Una vez determinados los clusters o tipos de curva de lactación que describen las ovejas del estudio, y que se pueden agrupar en cuatro tipos claramente diferenciados, pasamos a explorar las características de las ovejas que producían dichos tipos de curvas, para intentar comprender, diferenciar y ver qué circunstancias tenía cada oveja que elevara o redujera la probabilidad de dar un tipo u otro de curva de lactación.

6.3.3.1. Análisis de las variables cuantitativas

Definimos como tal a aquellas cuyas medidas posibles se pueden expresar por números, obtenidos por medición o recuento. Se evaluaron tanto variables asociadas a la producción y a la lactación, como variables relacionadas con el manejo reproductivo.

Variables asociadas a la producción láctea y duración de la lactación

En la tabla 44 se resumen las características de las distintas tipologías de las curvas de lactación utilizando variables continuas.

La **lactación de tipo LSI** produjo aproximadamente un 50% menos de leche que la media ($222 \pm 75,5$ vs. $434 \pm 183,1$ l; $P < 0,0001$), con una menor producción por día en leche (1,22 vs. 1,85). Además, este tipo de curva incluía lactaciones significativamente más cortas, con menor IPP que la media ($268 \pm 63,6$ vs. $302 \pm 65,4$ d; $P < 0,0001$), menores DEL ($182 \pm 52,9$ vs. $234 \pm 63,5$ d; $P < 0,0001$), mayor DPS ($80 \pm 59,5$ vs. 62 ± 49 d; $P < 0,0001$) y menor producción en la lactación previa (389 ± 187 vs. 420 ± 203 l; $P < 0,0001$), al compararla con los valores de la curva media global de la población (tabla 46). Los parámetros de la curva LSI de Pollott difirieron significativamente de la media, presentando menor *MS*, *NO*, y *GR*; pero mayor *NOD* y *DR* ($P < 0,0001$ en todos los casos; ver tabla 47).

Las **lactaciones de tipo LMN** se asociaron a una mayor media de producción por día en leche ($1,95 \pm 0,37$ vs. $1,81 \pm 0,53$ l; $P < 0,0001$) pero a una menor producción total, debido al hecho de que la curva de lactación fue corta. De modo que se asoció a una mayor capacidad de secreción, lo que indican los mayores valores de los parámetros de Pollott *MS*; *NO* y *GR*; y lactaciones más cortas, como indican los mayores valores de los parámetros de Pollott *MSL* y *DR* ($P < 0,0001$ en todos los casos respecto a los valores de la media global). El pico de producción era mayor, pero los parámetros de persistencia eran reducidos, particularmente *Per105* y *Per70*. Por otro lado, la longitud del periodo seco previo a la lactación fue significativamente más largo que la media ($68 \pm 51,4$ vs. $64 \pm 55,0$ d; $P < 0,0001$).

Todos los parámetros productivos fueron mejores que la media en la **lactación de tipo LLP**, con *PTL* superiores a la media global de la población ($487 \pm 70,5$ vs. 434 ± 183 l; $P < 0,0001$) y mayores *P-DEL* ($1,86 \pm 0,31$ vs. $1,81 \pm 0,53$ l; $P < 0,0001$). Los parámetros de la curva LLP de Pollott difirieron significativamente de la media, presentando menor *NO*, *GR* y *DR*; pero mayor *NOD*. Por otro lado, el pico

de máxima producción se alcanzó más tarde que la media ($37 \pm 25,7$ vs. $32 \pm 25,6$ d; $P < 0,0001$). Este tipo de lactación se asoció también a un periodo seco previo y posterior más corto que la media ($P < 0,0001$ en ambos casos).

Tabla 46. Caracterización de las cuatro tipologías de lactación identificadas: LSI= cortas y poco productivas; LMN= cortas y producción normal; LLP= largas y productivas; LXLP= largas y muy productivas. Media global= curva global de todas las lactaciones. Los datos se muestran como media \pm SD

| | LSI | LMN | LLP | LXLP | Media global |
|--------------------|---|---|---|---|-------------------------------|
| N | 2.137 | 2.039 | 2.169 | 1.443 | 7.788 |
| EPP (d) | 428 \pm 78,7 ⁻ | 431 \pm 78,0 | 436 \pm 76,1 | 438 \pm 76,2 ⁺ | 432 \pm 77,4 |
| Edad (años) | 2,39 \pm 1,05 ⁺ | 2,44 \pm 0,99 ⁺ | 1,91 \pm 0,89 ⁻ | 2,10 \pm 0,82 ⁻ | 2,2 \pm 0,98 |
| IPP (d) | 268 \pm 63,6 ⁻ | 282 \pm 52,4 ⁻ | 316 \pm 56,4 ⁺ | 342 \pm 65,0 ⁺ | 302 \pm 65,4 |
| PTL (l) | 222 \pm 75,5 ⁻ | 396 \pm 73,7 ⁻ | 487 \pm 70,5 ⁺ | 694 \pm 114,0 ⁺ | 434 \pm 183,1 |
| DEL (d) | 182 \pm 52,9 ⁻ | 205 \pm 33,1 ⁻ | 265 \pm 40,7 ⁺ | 295 \pm 54,7 ⁺ | 234 \pm 63,5 |
| DPS (d) | 80 \pm 59,5 ⁺ | 74 \pm 49,7 ⁺ | 50 \pm 39,0 ⁻ | 47 \pm 40,2 ⁻ | 62 \pm 49,6 |
| PDEL (l/d) | 1,23 \pm 0,32 ⁻ | 1,95 \pm 0,37 ⁺ | 1,86 \pm 0,31 ⁺ | 2,34 \pm 0,39 ⁺ | 1,81 \pm 0,53 |
| PLmax (l/d) | 1,85 \pm 0,56 ⁻ | 3,10 \pm 0,49 ⁺ | 2,75 \pm 0,46 | 3,46 \pm 0,38 ⁺ | 2,73 \pm 0,76 |
| Tmax (d) | 32 \pm 30,8 | 28 \pm 19,3 ⁻ | 37 \pm 25,7 ⁺ | 31 \pm 23,1 | 32 \pm 25,6 |
| Per150 | -0,007 \pm 0,006 ⁻ | -0,015 \pm 0,008 ⁺ | -0,010 \pm 0,005 ⁻ | -0,013 \pm 0,007 ⁺ | -0,011 \pm 0,007 |
| Per105 | -0,014 \pm 0,041 | -0,019 \pm 0,025 ⁺ | -0,010 \pm 0,006 ⁻ | -0,010 \pm 0,006 ⁻ | -0,014 \pm 0,025 |
| Per70 | -0,012 \pm 0,028 | -0,013 \pm 0,01 ⁺ | -0,007 \pm 0,006 ⁻ | -0,006 \pm 0,005 ⁻ | -0,010 \pm 0,016 |
| P-PTL (l) | 389\pm187⁻ | 427\pm183 | 410\pm215 | 470\pm228⁺ | 420\pm203 |
| P-PDEL (d) | 223 \pm 74,6 | 230 \pm 72,1 ⁺ | 218 \pm 91,4 ⁻ | 232 \pm 87,3 ⁺ | 225 \pm 81,0 |
| P-DPS (d) | 66\pm60,3 | 68\pm51,4⁺ | 55\pm50,4⁻ | 61\pm55,0 | 64\pm55,0 |

EPP= edad al primer parto; Edad=edad de la lactación actual en años; IPP=intervalo entre partos; PTL= producción total en la lactación; DEL=días en leche de la lactación; DPS duración del periodo seco; PDEL=producción por día en lactación; PLmax=pico de máxima producción láctea; Tmax= día del pico de máxima producción; Per150=persistencia a día 150 de lactación; Per105= persistencia día 105 de lactación; Per70=persistencia a día 70 de lactación; P-PTL= producción total de la lactación previa; P-PDEL= DEL de la lactación previa; P-DPS=DPS de la lactación previa

Los superíndices “+” y “-” indican valores significativamente mayores o menores al valor medio en la misma columna ($P < 0,0001$)

La **tipología de lactación LXLP** se asoció con los mejores resultados productivos, con PTL muy superiores a la media ($694 \pm 114,0$ vs. 434 ± 183 l; $P < 0,0001$) y mayor duración de la lactación ($295 \pm 54,7$ vs. $234 \pm 63,5$ d; $P < 0,0001$). El pico de máxima producción ($3,46 \pm 0,38$ l) fue el mayor de todas las tipologías y tuvo lugar aproximadamente en el mismo momento que la media ($31 \pm 23,1$ vs. $32 \pm 25,6$ d; $P > 0,05$). Esta tipología se asoció también con parámetros productivos de la lactación previa mucho mejores que la media (PTL 470 ± 228 vs. 420 ± 203 l; P-DEL $232 \pm 87,3$ vs. $225 \pm 81,0$ d; $P < 0,0001$ en ambos casos). Los parámetros de Pollott *MS*, *NO* y *GR* resultaron ser significativamente mejores en esta tipología que la media global de la población; mientras que los parámetros *NOD* y *DR* fueron significativamente menores. P-IPP fue mayor que la media ($316 \pm 68,6$ vs. $305 \pm 64,8$ d; $P < 0,001$).

Tabla 47. Caracterización de los parámetros del modelo de Pollott Aditivo de las cuatro tipologías de lactación identificadas: LSI= cortas y poco productivas; LMN= cortas y producción normal; LLP= largas y productivas; LXLP= largas y muy productivas. Media global= curva global de todas las lactaciones. Los datos se muestran como media \pm SD

| | LSI | LMN | LLP | LXLP | Media global |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| MS | $3,07 \pm 0,86^-$ | $3,65 \pm 0,46^+$ | $3,48 \pm 0,61$ | $3,83 \pm 0,32^+$ | $3,48 \pm 0,68$ |
| NO | $0,49 \pm 0,26^-$ | $0,56 \pm 0,27^+$ | $0,52 \pm 0,25^-$ | $0,56 \pm 0,28^+$ | $0,53 \pm 0,27$ |
| GR | $0,24 \pm 0,35^-$ | $0,31 \pm 0,37^+$ | $0,24 \pm 0,32^-$ | $0,35 \pm 0,37^+$ | $0,28 \pm 0,35$ |
| MSL | $2,99 \pm 1,10^-$ | $3,27 \pm 0,86^+$ | $3,14 \pm 0,89$ | $3,25 \pm 0,76^+$ | $3,15 \pm 0,93$ |
| NOD | $0,16 \pm 0,18^+$ | $0,07 \pm 0,07^-$ | $0,11 \pm 0,11^+$ | $0,06 \pm 0,06^-$ | $0,10 \pm 0,13$ |
| DR | $0,04 \pm 0,06^+$ | $0,036 \pm 0,03^+$ | $0,025 \pm 0,03^-$ | $0,023 \pm 0,02^+$ | $0,03 \pm 0,04$ |

Parámetros del modelo de Pollott (Pollott, 2000): MS= máximo potencial secretor; NO= proporción del número máximo de células secretoras que están presentes al inicio de la lactación; GR= tasa de proliferación de células secretoras; MSL= máxima pérdida de tejido secretor por apoptosis durante la lactación; NOD= proporción de células diferenciadas muertas al inicio de la lactación y DR= tasa de reducción del número de células secretoras durante la lactación

Los superíndices “+” y “-” indican valores significativamente mayores o menores al valor medio en la misma columna ($P < 0,0001$)

Variables relacionadas con el manejo reproductivo

Respecto a las variables relacionadas con la fisiología y manejo reproductivo de las ovejas evaluamos la posible influencia de la EPP y del número de lactación en el tipo de curva de lactación, viendo si las ovejas que daban lugar a curvas de cada tipología presentaban valores significativamente diferentes de estas variables reproductivas.

- **Influencia de la edad al primer parto, la edad de la oveja y el IPP.**

La EPP de las ovejas con lactación de tipo LSI fue ligeramente menor que la media, a pesar de que estas ovejas eran más viejas que la media de edad poblacional ($P<0,0001$). Las ovejas con lactaciones de tipo LMN eran más viejas que la media ($2,44\pm0,99$ vs. $2,2\pm0,98$ años) y tuvieron un intervalo entre partos más corto para la lactación actual ($282\pm52,4$ vs. 302 ± 65 d; $P<0,0001$ en ambos casos). Las lactaciones de tipo LLP se asociaron a las ovejas más jóvenes ($1,91\pm0,89$ vs. $2,2\pm0,98$ años; $P<0,0001$) y un IPP mayor que la media. Las tipologías LXLP también se asociaron a las ovejas más jóvenes que la media ($2,10\pm0,82$ vs. $2,2\pm0,98$ años; $P<0,0001$) y estos animales mostraron una EPP ligeramente mayor ($438\pm76,2$ vs. $432\pm77,4$ d; $P<0,0001$).

- **Relación entre el número de lactación (L1 - L5) y la tipología de la lactación**

El análisis del número de lactación mostró que el tipo LSI ocurría significativamente más frecuentemente entre las lactaciones cuarta y quinta ($P<0,0001$). Las lactaciones de tipología LMN ocurrieron significativamente más frecuentemente entre las lactaciones tercera, cuarta y quinta ($P<0,0001$) y finalmente, las lactaciones de tipo LXLP tuvieron lugar más frecuentemente en la primera y segunda lactación ($P<0,01$). De forma similar, la distribución de los tipos de lactación entre cada número de lactación L1 –L5 fue significativamente diferente entre distintos números de lactación ($P<0,0001$). A mayor número de lactación, mayor proporción de lactaciones correspondían a las tipologías menos productivas LSI y LMN. En L1, más del 60% de las lactaciones pertenecieron a las tipologías de alta producción LLP y LXLP. En L4 y L5, el 40,4% y el 46,3% de las lactaciones, respectivamente, correspondieron a las tipologías LSI, mientras que más del 70% y 80% de las lactaciones correspondieron a los tipos LSI y LMN.

6.3.3.2. Variables categóricas

Las variables categóricas o cualitativas son aquellas cuyos valores o características son categorías o clases excluyentes. Entre ellas se evaluaron: la influencia del mes de nacimiento, el mes del primer parto y el mes del parto; así como el posible efecto individual de la misma oveja sobre la tipología de la lactación.

Influencia del mes de nacimiento, mes del primer parto y mes del parto

Este análisis mostró que el tipo LSI se asociaba significativamente con más frecuencia a las ovejas nacidas (MNac) en diciembre ($P=0,001$), con mes de parto (MP) en noviembre ($P<0,0001$) y mes de concepción en junio ($P=0,01$).

Las lactaciones de tipo LMN se asociaron con mayor frecuencia en las ovejas con MNac en febrero ($P<0,0001$), MP en enero o junio ($P<0,0001$) y mes del primer parto (MPP) en abril ($P=0,005$).

Las lactaciones de tipo LLP se asociaron con significativa mayor frecuencia en las ovejas con MNac en septiembre ($P<0,007$), MP en diciembre ($P<0,0001$) y (MPP) en septiembre ($P=0,004$).

Finalmente, las lactaciones más productivas o LXLP se asociaron a las ovejas con MNac en septiembre ($P<0,0001$), MP en octubre o marzo ($P=0,001$) y MPP en octubre ($P<0,0001$).

Efecto individual de la oveja sobre la tipología de la lactación

Lo que quisimos explorar en este apartado es si una oveja individualmente daba lugar con una mayor probabilidad de un tipo determinado de curva, o lo que es lo mismo, si podíamos detectar un patrón de curvas en las ovejas una vez habían dado una tipología determinada de curva en la primera lactación.

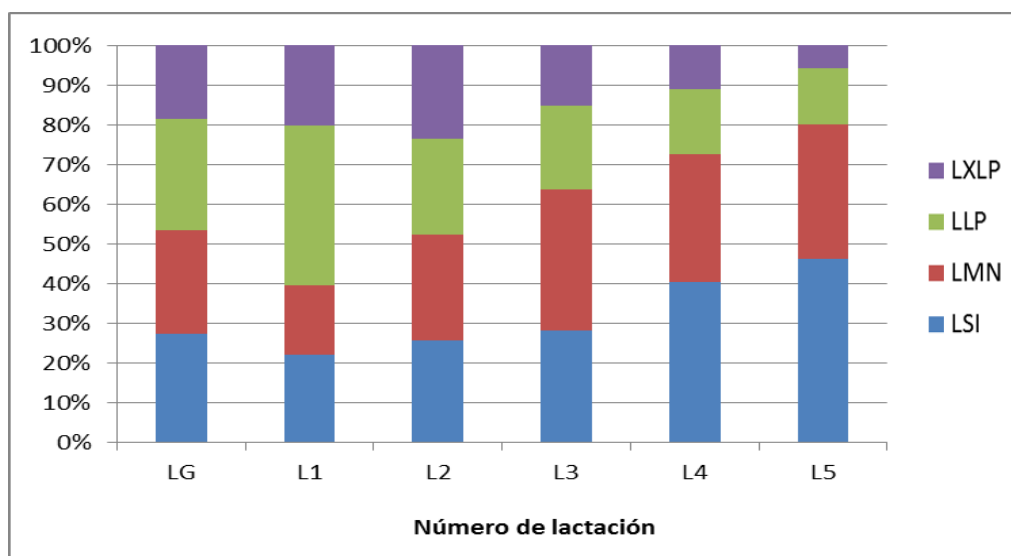


Figura 28. Distribución de cada tipología en los distintos números de lactación para las 7.788 lactaciones de ovejas lacauene bajo manejo i taciones cortas y producción normal ($n=2.039$); LLP= lactaciones largas y productivas ($n=2.169$); LSI= lactaciones cortas y poco productivas ($n=2.137$); LMN= lactaciones largas y muy productivas ($n=1.443$) y LG = lactación media muestra global de todas las lactaciones ($n=7.488$)

Así pues, lo primero fue observar la distribución poblacional de las distintas tipologías de curva de lactación (figura 30) distribuidas según número de lactación de la L1 a la L5. Las primeras lactaciones dieron lugar a una lactación de tipo LSI en el 22% (aproximadamente) de los casos, porcentaje que fue creciendo a medida que aumentaba el número de lactación (26% en L2, 28% en L3, 40% en L4 y 45% en L5). La frecuencia de las tipologías de alta producción disminuía a medida que aumentaba el número de lactación con un 61% de las lactaciones L1 (entre lactaciones de tipología LXLP y LLP), un 48% en las lactaciones L2; menos del 40% en las L3, menos del 30% en L4 y un 20% escaso en L5. Además un 41,4% de las lactaciones L3 se continuaron con lactaciones de tipología LSI en L4, mientras que sólo el 10,0% de las lactaciones L3 se siguieron por tipologías LXLP en L4.

A continuación, comparamos los tipos de lactación en la misma oveja entre lactaciones incluyendo datos de 1.534 ovejas con L1 y L2 completas, 1.456 con L2 y L3 completas, 742 con L3 y L4 completas y 294 ovejas con L4 y L5 completas. En la figura 31 se muestra la distribución de tipologías de lactación en la

lactación subsiguiente en base al tipo de la lactación previa (L1 a L5). Dentro de cada número de lactación L1-L4, la distribución en tipologías de la lactación previa fue significativamente distinta a las tipologías obtenidas en la siguiente lactación y mostradas en la figura 25 ($P<0,0001$), lo que determina una tendencia individual de la oveja a determinar por sí misma la tipología de lactación.

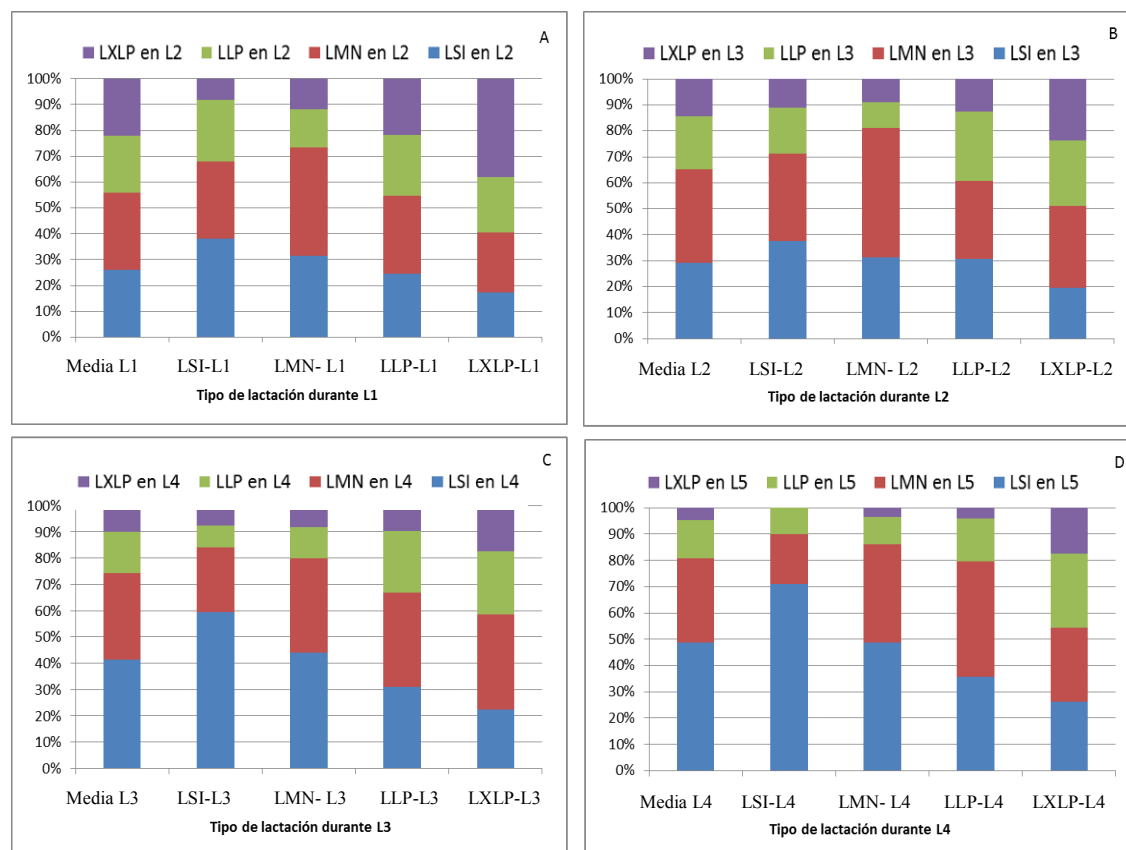


Figura 29. Proporción de ovejas de cada tipología de lactación en cada lactación (L1 a L5), en base a la tipología de la lactación previa. Los tipos se definen en la figura 28. La lactación media muestra los datos agregados para cada número de lactación. Las proporciones de cada número de lactación fueron significativamente diferentes a los de la lactación media ($P<0,001$)

Así pues: las ovejas que en la L1 dieron lugar a una curva tipo LSI tuvieron una curva del mismo tipo (LSI) en la L2 con una frecuencia de casi el 40%, lo que fue significativamente mayor que la proporción esperada según la población (un 26%). Igualmente, estas ovejas, mostraron una menor probabilidad (32%) de dar lugar a curvas de gran producción (LLP o LXLP) en la L2 respecto de lo observado en la población (48%).

En el otro extremo, las ovejas que en la L1 dieron lugar a una curva LXLP tenían un porcentaje de curvas LXLP en la L2 de casi el 40% significativamente mayor que el esperado (en la población era 22%).

Aunque la tendencia observada en la población de reducirse la frecuencia de curvas de gran producción (LXLP y LLP) a medida que se eleva la edad de la oveja y con ello, el número de lactación se observaba claramente incluso cuando segregamos por tipos en cada lactación (la frecuencia de lactaciones más

productivas descendía con el número de lactación: con un 23,6% de las lactaciones L2 de tipo LXLP con lactaciones L3 del mismo tipo, mientras que el porcentaje correspondiente fue el 17,4% entre L3 y L4, y tendió a estabilizarse a partir de la cuarta lactación con 17,4% entre L4 y L5), se observó una tendencia significativa de cada oveja a mantener con una mayor probabilidad respecto de la poblacional el mismo tipo de curva que previamente había tenido. De forma similar, las lactaciones de tipo LLP o LMN estuvieron más probablemente seguidas por otra lactación de tipo LLP o LMN.

Las ovejas que mostraban menos determinación individual respecto al tipo de curva en la lactación siguiente fueron las que en la L1 tuvieron tipo LLP, de manera que presentaron una frecuencia de tipos productivos (tipo LLP en el 23,5% de los casos y tipo LXLP en el 21,6% de los casos) del 44%, semejante al poblacional (48%).

6.4. DISCUSIÓN

El presente análisis de tipologías identificó cuatro tipos de lactación en las ovejas lacaune bajo condiciones de manejo intensivo. Los distintos tipos difirieron principalmente en su productividad con tipos de curva LSI y LMN, menos productivas, que supusieron el 53,6% de las lactaciones y; tipos de curva LLP y LXLP que fueron más productivas y que supusieron el 46,4% de las lactaciones. Las ovejas que habían dado lugar a lactaciones más productivas mostraron las siguientes características diferenciales principales con respecto a las ovejas con lactaciones menos productivas: un periodo seco previo más corto, mayor longitud del intervalo entre partos, nacimiento de la oveja productora en el mes de septiembre, primer parto del animal durante los meses de septiembre y octubre y mes del parto que daba origen a la lactación estudiada en marzo, octubre o diciembre.

De manera que los principales factores que parecen influenciar la producción láctea de la oveja lacaune bajo condiciones intensivas son la edad (o número de lactación), la productividad o potencial individual de la oveja y la estación/fotoperiodo, tanto de nacimiento como de parto.

Una ventaja importante del análisis de tipologías a la hora de evaluar la producción láctea es que nos permite estudiar simultáneamente la curva de lactación completa, en lugar de utilizar modelos múltiples de ajuste para cada parámetro de la curva individual (Ej. PTL, DEL, PLMax). De modo que esta técnica es capaz de detectar relaciones entre características que serían invisibles a otros métodos estadísticos como la regresión, ANOVA o análisis de correlación. En concreto, la aplicación de esta metodología a las curvas de lactación nos permite identificar qué factores afectan significativamente a la forma de la curva de lactación (Astiz et al., 2014; Cardenas, 2009), como por ejemplo qué factores biológicos o ambientales determinan la tipología de un animal determinado.

Las cuatro tipologías de lactación difirieron principalmente en la forma de la curva y la longitud, siendo las más productivas las de mayor longitud y persistencia. Los resultados concuerdan con estudios previos en vacuno indicando que la persistencia es mucho más importante que el pico de máxima producción a la

hora de predecir la productividad media del rebaño (Soelkner y Fuchs, 1987; Capuco et al., 2003; Cole y Van Raden, 2006).

6.4.1. Resultados productivos

En el estudio encontramos que la producción media, tanto diaria como de la lactación, descendía con la edad de la oveja confirmando anteriores resultados de nuestro grupo (Hernandez et al., 2011). Las ovejas con EPP >420 d alcanzaron la máxima producción en la L1 probablemente debido a que el desarrollo de la ubre era ya completo con esa EPP. Estos resultados concuerdan con los descritos en vacuno lechero (Haworth et al., 2008; Moore et al., 1991; Pirlo et al., 2000) y en ovino, en la raza assaf, bajo condiciones intensivas (Pollott y Gootwine, 2004), donde las ovejas con mayor EPP presentaron una menor producción en la segunda lactación que en la primera lactación ($P<0,05$); pero difieren en los resultados obtenidos con otras razas ovinas, incluyendo la lacaune (Barillet et al., 1992), latxa (Gabiña et al., 1993) y awassi (Gootwine y Pollott, 2000). Estas diferencias sugieren la necesidad de aplicar el análisis a cada situación productiva individual (raza y sistema de producción) y podrían deberse, en parte, a diferencias en los sistemas de manejo entre los distintos estudios.

En el presente estudio, la producción láctea de los tipos de lactación LLP y LXL fue mayor después de un periodo seco corto en la lactación anterior, corroborando los resultados previos de nuestro grupo (Hernandez et al., 2012). Resultados similares se han descrito en vacuno lechero (Pinedo et al., 2011), en los cuales periodos secos más largos del P-DPS se asociaron a una peor salud de ubre y una reducción en la productividad (Natzke et al., 1975; Pinedo et al., 2011).

Los parámetros de Pollott nos ayudan a explicar, en parte, las características de las diferentes tipologías. Las curvas LSI presentan un potencial secretor reducido desde el inicio de la lactación (bajos *MS* y *NO*, máximo *NOD*), y escasas posibilidades para superar esta situación durante la lactación (elevado *GR* y bajo *DR*). Por el contrario, las curvas LXL presentaron el mayor potencial secretor al inicio de la lactación (máximos *MS* y *NO*, con mínimo *NOD*), junto con buen *GR* y mínimo *GR*. Algunos estudios han evidenciado que las diferencias en la renovación de las células mamarias determina fuertemente la persistencia de la lactación y por tanto la productividad (Capuco et al., 2003), por lo que las ovejas primíparas difieren en su capacidad secretora (Pollott y Gootwine, 2004).

Gran parte de las constantes descritas en las curvas de Pollot corresponden a características intrínsecas al individuo (genotípicas y fenotípicas), como son los potenciales secretores, o la capacidad de regeneración. Estos datos concuerdan con lo observado posteriormente en la influencia individual de cada oveja, donde vimos una clara tendencia de las ovejas a mantener el mismo tipo de curva de lactación en sucesivas lactaciones, lo que indica claramente una influencia individual (genotípica y/o fenotípica):

Las lactaciones menos productivas pueden resultar no sólo de las ovejas con mayor número de lactaciones sino también asociado al plano nutricional, el cual puede verse influenciado a su vez por la fase de gestación (Pollott, 2000), y condiciones sanitarias, especialmente en lo relativo a las infecciones intramamarias (Gonzalo et al., 2002; Hernandez et al., 2014; Leitner et al., 2004). En el presente trabajo, dado que todas los animales recibían la misma alimentación, según su nivel productivo y dado que no contaban con pastoreo, las ovejas que presentaron tipologías de curva con baja producción, probablemente, tenían una menor capacidad productiva desde el inicio de la misma, lo que podría ser susceptible de mejorarse a través del manejo o de la selección de líneas genéticas más productivas, si estas características fueran de base genética y heredables. Respecto a las infecciones intramamarias, su evaluación requeriría un estudio específico y profundo para evaluar su implicación, lo que sería de gran interés para futuros estudios.

6.4.2. Resultados reproductivos

El presente trabajo detectó cómo el momento de la gestación puede afectar negativamente a la forma de la curva de lactación. El intervalo entre partos (IPP) fue menor en las lactaciones menos productivas ($268 \pm 63,6$ d) que en las más productivas ($342 \pm 65,0$ d). Por tanto, las ovejas que quedaban gestantes con anterioridad tenían mayor probabilidad de ser menos productivas. Pero esto no demuestra causalidad por parte de la fertilización. Más bien al contrario, este hallazgo sería consecuencia de la práctica empírica de la explotación objeto de estudio de ir retrasando los DEL a la cubrición en las ovejas más productivas con el objeto de obtener más leche de éstas. Estos resultados indican que retrasar la concepción se asocia con una mayor producción no sólo en la lactación en curso, sino también en la siguiente lactación. De hecho el P-IPP de las curvas de tipo LXLP fue mayor que la media ($P < 0,0001$). Por tanto, el retraso de la cubrición no parece asociarse a efectos negativos y sin embargo, sí parece mejorar la eficiencia económica de esa lactación. De acuerdo con esto, David et al. (2008) observaron una correlación inversa entre la fertilidad y la producción láctea en las ovejas lecheras de raza lacaune. De forma similar, una mayor duración del periodo posparto previo a la cubrición se asocia a una mayor producción en las ovejas assaf y awassi bajo distintas condiciones de manejo (Eyal et al., 1978; Gootwine y Pollott, 2000; Kassem et al., 1989; Pollott y Gootwine, 2004). Sin embargo, dado que a nivel de rebaño en la explotación objeto de estudio la prioridad es optimizar la producción por oveja presente/ año. Este hecho junto al manejo agrupado de los animales en lotes hace que la cubrición temprana y la aplicación de programas reproductivos siga siendo fundamental para reducir el IPP y aumentar la producción láctea del rebaño, punto clave para mejorar la productividad de la explotación. En vacuno lechero se ha sugerido que las vacas con producciones lecheras elevadas al inicio de la lactación probablemente retrasen la concepción debido al balance energético negativo (Butler, 2000; Pryce et al., 2004). De hecho, numerosos autores han recomendado incrementar el intervalo entre parto y primera IA en las vacas de alta producción con el objeto de incrementar su productividad (Arbel et al., 2001; Inchaisri et al., 2011) y se ha demostrado que

en grupos muy productores de animales el retraso de la fertilización no perjudica la lactación subsiguiente (Astiz et al., 2014).

6.4.2.1. Influencia de la edad

Los resultados del análisis indican que dos factores determinantes del tipo de lactación son la edad de la oveja al primer parto (EPP) y la edad de la misma en el parto que da lugar a la lactación en curso. Si las ovejas de este estudio eran demasiado jóvenes en su primer parto, su productividad parecía empeorar. Estos resultados concuerdan con el trabajo previo realizado por nuestro grupo en la misma explotación con ovino lacaupe bajo manejo intensivo, en el que encontramos que la EPP óptima se encontraba en el intervalo 390-450 d (Hernandez et al., 2011). Sin embargo, la diferencia en la EPP entre el tipo menos productivo (LSI, $428 \pm 78,7$ d) y el más productivo (LXLP, $438 \pm 76,2$ d) fue de sólo 10 días, de modo que aunque la diferencia sea estadísticamente significativa es poco aplicable de cara a realizar una diferenciación de manejo en la práctica. De hecho, los valores de EPP recogidos en el presente estudio se encuentran dentro de los rangos recomendados previamente (Hernandez et al., 2011).

6.4.2.2. Influencia del mes de nacimiento, mes del primer parto y mes del parto actual

En este trabajo se detectó una clara influencia de la época de nacimiento y parto sobre la producción láctea. Una mayor proporción de ovejas nacidas en diciembre y febrero dieron lugar a lactaciones menos productivas que las ovejas nacidas en septiembre. De hecho, este último grupo de ovejas produjo mayor número de lactaciones de tipo LLP y LXLP, lo que puede reflejar una asociación entre el retraso de la pubertad y la mayor producción lechera. Las ovejas nacidas en invierno llegan a la pubertad durante el primer periodo de cubriciones, probablemente antes de que su cuerpo se haya desarrollado por completo. Sin embargo, las ovejas nacidas en septiembre llegan a la pubertad en el siguiente periodo de cubriciones, de forma que su EPP se encuentra dentro del rango ideal de 390 a 450 d (Hernandez et al., 2011). En estudios anteriores se ha atribuido la influencia del mes de nacimiento sobre la productividad lechera a la influencia del fotoperiodo, el crecimiento prepuberal y la actividad reproductora peripuberal asociándose al amamantamiento de la madre (El Saied et al., 2006; Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004). Sin embargo, es poco probable que este factor explique la influencia observada del mes de nacimiento en el presente estudio, ya que no se permitió amamantamiento en ningún caso.

Además, los resultados sugieren que el mes en que tiene lugar el parto influencia la producción lechera, lo que concuerda con los estudios que muestran que este factor afecta en gran medida el rendimiento productivo y reproductivo de las ovejas lecheras assaf, churra y awassi, tanto bajo manejo intensivo (Gootwine y Pollott, 2000; Pollott y Gootwine, 2004) como no intensivo (El Saied et al., 2006). En el presente estudio encontramos que las lactaciones más productivas fueron las que comenzaron en octubre, diciembre y marzo, lo que concuerda, en parte, con los estudios que sugieren que la presencia de días cortos antes del parto y el cambio de fotoperiodo hacia días más largos mejora la productividad (Pollott y Gootwine, 2004) y también puede aumentar la persistencia de lactación (Capuco et al., 2003), lo

que explicaría la elevada productividad de los tipos de alta producción. Sin embargo, el porqué las lactaciones iniciadas a partir de octubre son tan productivas sigue estando poco claro en base a este razonamiento.

6.4.2.3. Efecto de la oveja individual sobre la curva de lactación

La mayoría de las ovejas tendía a mostrar lactaciones del mismo tipo entre una lactación y la siguiente con una probabilidad mayor que la esperada según la frecuencia poblacional (Figura 31; $P < 0,0001$). Sólo las ovejas con lactaciones de tipo LLP tuvieron la misma probabilidad que la poblacional a dar lugar a siguientes lactaciones del cualquier otro tipo. El incremento del número de lactación se asoció al descenso de la PTL con menor proporción de curvas de lactación de tipo LXLP, al menos hasta L4. Sin embargo, las ovejas que mostraron curvas de lactación de tipo LXLP presentaron significativamente más probabilidad de mostrar el mismo tipo de curva LXLP en las siguientes lactaciones, incluidas la L3, L4 y L5.

Dado que todos los animales del estudio pertenecían al mismo rebaño estaban sujetos a las mismas condiciones de manejo, alojamiento y alimentación, pudiéndose descartar efectos ambientales diferenciados sobre distintos animales, los resultados obtenidos refuerzan la importancia del carácter individual en la productividad, posiblemente de base genética, particularmente en las ovejas que presentan producciones extremadamente elevadas o extremadamente escasas. De hecho, estudios previos llevados a cabo en ovino demuestran claramente una base genética en el potencial productivo basado en la persistencia y longitud de la lactación (Jamrozik et al., 2007; Jonas et al., 2011).

En conclusión, nuestros resultados indican que la edad de la oveja, el mes de nacimiento, el mes del parto y su individualidad o probablemente, su potencial genético son los principales factores que afectan a la productividad de la raza lacaune bajo las condiciones de manejo intensivo de la explotación objeto de estudio. La mayor parte de las ovejas presentaron tipologías de curva de lactación marcadamente estables entre una lactación y la siguiente, lo que sugiere que la tipología de la curva en la primera lactación podría ser utilizada para guiar las decisiones de manejo y selección en la explotación cómo qué ovejas poner en reproducción o cuales mantener en la explotación. Esta información adicional podría ayudar a las explotaciones a mejorar la eficiencia productiva de sus rebaños.

DISCUSIÓN GLOBAL

7. DISCUSIÓN GLOBAL DE RESULTADOS

El presente trabajo supone el primer estudio completo de la curva de lactación en la raza lacaune explotada bajo condiciones intensivas de manejo. El estudio de las curvas de lactación, tanto descriptivo como de caracterización, nos permite conocer las características productivas de la raza y estudiar los factores que la afectan, así como cuantificar dichos efectos. De modo que los resultados pueden sernos de gran utilidad, tanto de cara a la toma de decisiones de manejo y selección de la explotación, como el establecimiento de objetivos de edad al primer parto, duración del secado, momento de la cubrición, decisión de desecho de un animal, etc.

En el presente estudio hemos recogido y analizado de los datos reproductivos y de producción de 3.677 ovejas pertenecientes a una misma explotación y registrados entre 2005-2010. En total 664.220 registros de producción diaria de 7.873 lactaciones, con una media de 84,37 registros diarios por lactación. Así mismo, hemos desarrollado una nueva estrategia de ajuste utilizando la metodología matemática de ajuste de curvas de lactación denominada polinomios fraccionales (PF). Adicionalmente hemos detectado que las funciones matemáticas de ajuste óptimas para la curva de lactación de la oveja lacaune lechera en estas condiciones son Pollott Aditivo y PF. A continuación determinamos que hay cuatro tipologías diferentes de las curvas de lactación y finalmente hemos podido esclarecer cuáles son las características de manejo, fisiológicas, de la oveja y del ambiente más influyentes en la capacidad productiva de las ovejas (es decir, en el tipo de curva). En la presente discusión global, pretendemos resumir los hallazgos más relevantes del trabajo de tesis doctoral, para, finalmente proporcionar una serie de pautas de manejo a modo de recomendaciones, que permitan un mejor rendimiento lechero de la raza lacaune bajo condiciones intensivas de producción.

Cuando iniciamos los estudios en la raza lacaune disponíamos de escasa información con respecto a la curva de lactación, a pesar de que esta raza francesa ha sido sometida durante más de treinta años a rigurosos programas de mejora genética. Sin embargo, dado que la producción de esta raza en su núcleo original en Francia sigue la reglamentación de la D.O.P de Roquefort que sólo permite la explotación tradicional de los animales con un periodo de amamantamiento obligatorio, no contábamos con estudios completos de la curva de lactación. Tan sólo disponíamos de datos de producción posdestete y estimaciones aproximadas de la curva y de la producción total (Barillet et al., 2001; Oravcová et al., 2006).

Nuestro estudio pone en evidencia cómo la raza lacaune explotada bajo condiciones intensivas llega a alcanzar un rendimiento productivo excepcional. En un primer análisis descriptivo de la curva de lactación, evidenciamos cómo la producción global media alcanzada en la explotación intensiva de ovejas lacaune objeto de nuestro estudio (345,24 l de producción por lactación estandarizada a 160 días y 424,41 l tras el seguimiento a 40 semanas, con una duración media de la lactación de 224 días). De hecho, si comparamos con las principales razas ovinas lecheras utilizadas a nivel mundial bajo condiciones intensivas de producción, la forma de la curva media global (LG) obtenida en nuestro estudio es

prácticamente paralela a la descrita por Gootwine y Pollott (2000) para la oveja awassi mejorada en Israel, aunque con algo menos de producción, y con mucha más producción que la de la curva de lactación descrita por Pollott y Gootwine (2004) para la raza assaf en Israel (figura 17). Pero además, si comparamos con los datos productivos descritos en las razas awassi y assaf españolas los resultados productivos de la lacaune son aún más reseñables (345,24 vs. 400 y 330 l, respectivamente) (Cambero Muñoz, 1999; FEAGAS, 2011).

Posteriormente, evaluamos las curvas resultantes en base al número de lactación y a la duración de la lactación. Bajo las condiciones de nuestro estudio, las ovejas lacaune alcanzaron la máxima producción ya en la primera lactación descendiendo levemente en la segunda lactación y de forma más acentuada a partir de la tercera lactación al contrario de lo observado en otras razas ovinas lecheras españolas bajo manejo tradicional (Gabiña et al., 1993; Ruiz et al., 2000), o incluso, a diferencia de razas altas productoras bajo manejo intensivo (Gootwine y Pollott, 2000). Esta característica diferenciada de la oveja lacaune lechera es relevante a la hora de tomar decisiones sobre el futuro productivo de animales individuales, una vez disponibles los datos productivos de la primera lactación, ya que no es probable la mejora de sus índices productivos en lactaciones posteriores.

Este hecho podría explicarse debido a que la ubre ya estuviera totalmente desarrollada en la primera lactación con una edad media de 14,4 meses; habiéndose evidenciado en estudios previos de nuestro grupo cómo la edad óptima al primer parto de la oveja lacaune bajo manejo intensivo se situaba entre 390 a 450 días de edad (de 13 a 15 meses) (Hernandez et al., 2011). Respecto a la duración de la lactación, apenas contamos con trabajos previos que evalúen el efecto de la duración de la curva de lactación en ovino y sus resultados son contradictorios (Gootwine y Pollott, 2000). En nuestro caso, con la raza lacaune, al igual que en el trabajo de Ruiz et al. (2000), la longitud de la lactación mostró un claro efecto positivo sobre la producción láctea, aunque realmente es un efecto determinado, muy probablemente por el manejo. Así pues, ovejas de alta producción tienden a ser incluidas en los lotes de monta deliberadamente más tarde, y una vez gestantes, se tiende a apurar el momento del secado, para aprovechar estos altos niveles de producción lechera. En realidad, la relación de estos dos factores (mayor producción total/ lactación y mayor longitud de curva de lactación) no indica causalidad ni consecuencia, sino simplemente simultaneidad, al menos, en nuestra explotación. Lo que sí queda demostrado es que un retraso deliberado (o no) de la cubrición no penaliza el nivel productivo de la siguiente lactación, hecho importante, y discutido en otras especies lecheras.

Sin embargo, no podemos olvidar que a nivel de rebaño la producción por oveja presente/ año tiene un valor fundamental sobre la rentabilidad de la explotación. Este hecho junto al manejo agrupado de los animales en lotes hace que la cubrición temprana y la aplicación de programas reproductivos siga siendo fundamental para reducir el IPP y aumentar la producción láctea del rebaño, punto clave para mejorar la productividad anual de la explotación, si bien, a nivel individual, o en ciertos lotes especialmente productivos, pudiera ser interesante retrasar la cubrición, a nivel de explotación y teórico.

Para el estudio de los factores que afectan la producción se topa normalmente con un primer problema que es la ya tradicional falta de muestreos continuos, diarios e individuales de la producción láctea de los animales en lactación de las explotaciones. En la mayor parte de los casos el control lechero individual se limita a la toma de muestras mensuales y sólo se suele contar con 4-8 datos /oveja/ lactación, así que se requiere un modelo matemático de ajuste de curva que permita “rellenar” esos huecos inevitables. Igualmente nosotros tratamos de identificar el modelo matemático que nos permitiera lograr el mejor ajuste de la curva de lactación de la oveja lacauine bajo condiciones intensivas. Dicho ajuste matemático permite hacer estimaciones, tanto de la forma de la curva, como de la producción total, entre otros, siendo de gran utilidad para poder predecir el comportamiento productivo futuro a partir de muestras parciales, o de lactaciones ya en curso. Sin embargo, para poder disponer de información útil y fiable, es fundamental encontrar la función matemática que mejor se ajuste a la curva de lactación de la especie, la raza, la edad o el número de lactación (no siempre especificado en cada especie lachera), la zona climática, así como al sistema de producción y manejo. Los resultados de este estudio han identificado las funciones de PF y Pollott Aditivo (Pollott y Gootwine, 2000) como las más precisas y fáciles de aplicar a la curva de lactación de la oveja lacauine de cara a predecir la producción láctea. Ambas funciones fueron las que presentaron mayor bondad de ajuste con respecto a la curva real, tanto para la LG, como para las curvas L1-L5.

Ambos modelos presentaron distintas ventajas que los diferencian del resto de modelos matemáticos y que los hacen más interesantes a la hora de su aplicación en los distintos contextos. Mientras que el modelo PF presenta, desde un punto de vista de aplicabilidad, la gran ventaja de su facilidad de cálculo, sin que sea necesario el uso de ningún *software* específico; el modelo de Pollott aditivo presenta el valor añadido asociado a la posibilidad de realizar la interpretación biológica de sus parámetros y de mejor comportamiento ante una cantidad de registros inicial menor a la del estudio actual.

Así pues, con el modelo de ajuste óptimo se pueden identificar los animales con mayor potencial productivo en fases iniciales (Morant y Gnanasakthy, 1989) y nos proporcionan valiosa información que ayudan a la toma de decisiones para los programas reproductivos (Barillet y Boichard, 1994) y en las estrategias de manejo a pie de granja (Sakul y Boylan, 1992). La aplicación de estos modelos nos permite, por ejemplo, la detección temprana de las ovejas con un menor potencial productivo, facilitando la toma de decisiones de manejo encaminadas a optimizar la productividad de la explotación. De hecho, el análisis conjunto del número de lactación y la longitud de la lactación permite la predicción de la producción de la oveja. Por ejemplo, una oveja de segunda lactación con una producción por debajo de 2,0 l/día en la semana 10 probablemente no alcanzará el nivel de producción media de la explotación y podría interesar cubrirla más temprano o eliminarla del rebaño.

Lo más interesante para un sistema productivo es determinar los factores que hacen que los animales sean altamente productores (para reforzarlos) o claramente peores (para evitarlos o minimizarlos). Para ello, y aplicando el modelo de Pollott Aditivo completamos los datos individuales de las 7.873 lactaciones

para a continuación realizar el análisis de tipologías de dichas curvas. El análisis de tipologías detecta grupos de individuos o casos semejantes entre sí y diferentes a la población global.

Una vez localizadas las tipologías o clusters se continúa la exploración para comprobar qué diferencia a los individuos de cada tipología: ¿qué hay que sea diferente en ellos respecto de la población? Y a continuación se comprueba si estas características son modulables. Una ventaja importante del análisis de tipologías a la hora de evaluar la producción láctea es que nos permite estudiar simultáneamente la curva de lactación completa, en lugar de utilizar otros métodos estadísticos como la regresión, ANOVA o análisis de correlación que nos obligan a analizar cada vez parámetros parciales (Ej. PTL, DEL, PLMax), no todo en conjunto. De hecho, ante un volumen de datos como el aportado en este estudio, las tipología es el método matemático-estadístico de elección para determinar diferencias poblacionales.

El análisis encontró cuatro tipologías de curvas de lactación que difirieron principalmente en forma y longitud, siendo dos tipologías las de curvas más productivas (de mayor longitud y persistencia), otra tipología la de curvas de producción media, y la cuarta tipología la de curvas más cortas y menos productivas. Los resultados concuerdan con estudios previos en vacuno indicando que la persistencia es mucho más importante que el pico de máxima producción a la hora de predecir la productividad media del rebaño (Capuco et al., 2003; Cole y Van Raden, 2006; Soelkner y Fuchs, 1987).

Una vez identificadas las tipologías de curvas de lactación pasamos a intentar ver qué diferenciaba las ovejas que daban lugar a curvas de una u otra tipología. Es decir, a continuación exploramos características medioambientales, fisiológicas o de manejo para ver si eran o no distintas en las ovejas que dieron lugar a curvas de distintas tipologías y si sí, intentar fijar estrategias de manejo que eleven el número de curvas más productivas. Así pues, comprobamos que las ovejas cuyas lactaciones fueron más productivas mostraron las siguientes diferencias principales con respecto a las lactaciones menos productivas:

- Nacimiento en el mes de septiembre
- Primer parto durante los meses de septiembre y octubre
- Mes del parto en marzo, octubre o diciembre
- Mayor longitud del intervalo entre partos
- Un periodo seco previo más corto
- Las ovejas de más edad

De manera que los principales factores que parecen influenciar la producción láctea de la oveja lacaua bajo condiciones intensivas son la edad (o número de lactación), factor no influenciable a nivel individual, aunque sí a nivel de rebaño, la productividad potencial individual de la oveja (influenciable mediante programas de selección genética), la duración del periodo seco previo a la lactación analizada

(influenciable mediante protocolos de manejo) y la estación/fotoperiodo del nacimiento, del primer parto y del parto que da lugar a la lactación analizada (influenciable, al menos en parte, por sistemas de manejo reproductivo).

7.1. HERRAMIENTAS PRÁCTICAS DE USO EN GRANJA

En base a los resultados del estudio podemos establecer una serie de recomendaciones con respecto a distintos parámetros de manejo a nivel de explotación:

7.1.1. Tiempo posparto para la cubrición de las ovejas

El presente trabajo detectó cómo el momento de la gestación puede afectar negativamente a la forma de la curva de lactación. El intervalo entre partos (IPP) fue menor en las lactaciones menos productivas ($268 \pm 63,6$ d) que en las más productivas ($342 \pm 65,0$ d). Por tanto, las ovejas que quedaban gestantes con anterioridad tenían mayor probabilidad de ser menos productivas. Este hallazgo apoya la práctica empírica de la explotación objeto de estudio de ir retrasando los DEL a la cubrición con el objeto de obtener más leche con ovejas más productivas. Realmente, y como hemos comentado anteriormente, no hemos probado una relación causal entre los dos factores (mayor producción-mayor longitud de lactación), sino simplemente una simultaneidad de ocurrencia de ambas cosas. Lo que sí es importante es que resultados los indican que retrasar la concepción no sólo no se asocia con un detrimento en la producción en la lactación en curso (al contrario, ya que se relaciona con una mayor producción en la misma), sino que tampoco ejerce una influencia negativa en el nivel productivo de la lactación subsiguiente (que también se observa como de mayor producción). Por tanto, el retraso de la cubrición en animales altamente productores no parece tener efectos negativos, y sin embargo, sí parece mejorar la eficiencia económica. Sin embargo, no podemos olvidar que a nivel de rebaño la producción por oveja presente/ año tiene un valor fundamental sobre la rentabilidad de la explotación. Este hecho junto al manejo agrupado de los animales en lotes hace que sólo en ciertos lotes especialmente productivos pueda ser interesante a nivel práctico retrasar la cubrición; ya que a nivel de explotación la cubrición temprana y la aplicación de programas reproductivos es fundamental para reducir el IPP y aumentar la producción láctea del rebaño, punto clave para la productividad anual de la explotación.

7.1.2. Edad al primer parto

Identificamos otro factor determinante del tipo de lactación: la edad de la oveja al primer parto (EPP). Si las ovejas de este estudio eran demasiado jóvenes en su primer parto, su productividad parecía empeorar. Estos resultados concuerdan con el trabajo previo realizado por nuestro grupo en la misma explotación con ovino lacaupe bajo manejo intensivo, en el que encontramos que la EPP óptima se encontraba en el intervalo 390-450 d (Hernandez et al., 2011). Sin embargo, la diferencia en la EPP entre

el tipo menos productivo (SL, $428 \pm 78,7$ d) y los más productivos (VPL, $438 \pm 76,2$ d) fue de sólo 10 días, de modo que aunque la diferencia fue estadísticamente significativa es poco aplicable de cara a realizar una diferenciación de manejo en la práctica. De hecho, los valores de EPP recogidos en el presente estudio se encuentran dentro de los rangos recomendados por Hernandez et al. (2011) de 13-15 meses. Lo que sí parece claro con este estudio es la ratificación de que el intervalo de EPP entre 13-15 meses garantiza un desarrollo corporal y de la ubre suficiente, ya que da lugar a una productividad máxima en la primera lactación, y durante toda la vida productiva de la oveja.

7.1.3. Selección de las corderas de reposición

Detectamos una clara influencia de la época de nacimiento y parto sobre la producción láctea. Una mayor proporción de lactaciones fueron menos productivas en las ovejas nacidas en diciembre y febrero que en las nacidas en septiembre. De hecho, este último grupo de ovejas produjo mayor número de lactaciones de tipo LLP y XLLP. Lo que puede reflejar una asociación entre el retraso de la pubertad y la mayor producción lechera. Las ovejas nacidas en invierno llegan a la pubertad inmediatamente durante el primer periodo de cubriciones, probablemente antes de que su cuerpo se haya desarrollado por completo. Sin embargo, las ovejas nacidas en septiembre llegan a la pubertad en el siguiente periodo de cubriciones, de forma que su EPP se encuentra dentro del rango ideal de 390 a 450 d (Hernandez et al., 2011). De modo que podría ser de interés seleccionar las corderas para cría dentro del grupo de las nacidas en invierno ya que éstas serán más productivas para la explotación. Sin embargo, esto es difícil de aplicar en la práctica ya que por otro lado tratamos de evitar la estacionalización de las producciones.

7.1.4. Selección de ovejas a mantener o eliminar del rebaño

Al evaluar la influencia de la individualidad de las ovejas sobre la productividad encontramos que la mayoría de las ovejas tendía a mostrar lactaciones del mismo tipo entre una lactación y la siguiente (Figura 31; $P < 0,0001$) o más exactamente, una oveja con una tipología determinada tenía una probabilidad mayor que la población de tener una curva de lactación del mismo tipo tras los siguientes partos. Sólo las ovejas con lactaciones de tipo LLP tuvieron la misma probabilidad que la población de dar lugar a siguientes lactaciones del mismo u otro tipo. Esto corrobora parcialmente las estrategias de selección empíricas que se efectúan en la granja, en donde se asume que una oveja “buena productora” lo será de por vida, y viceversa. Si esta mejor capacidad productiva es de base genética, la selección de hijas de estas ovejas, será una estrategia de selección genética adecuada.

Dado que todos los animales del estudio pertenecían al mismo rebaño estaban sujetos a las mismas condiciones de manejo, alojamiento y alimentación, es probable que la tendencia individual de las ovejas a tener un determinado tipo de curva sea de base genética, particularmente en las ovejas que presentan producciones extremadamente elevadas o escasas. De hecho, estudios previos llevados a cabo en ovino demuestran claramente una base genética en el potencial productivo basado en la persistencia y longitud

de la lactación (Jamrozik et al., 2007; Jonas et al., 2011). El hecho de que la mayor parte de las ovejas presente tipologías de curva de lactación marcadamente estables entre una lactación y la siguiente, sugiere que la tipología de la curva en la primera lactación podría ser utilizada para guiar las decisiones de manejo y selección en la explotación cómo qué ovejas poner en reproducción o cuales mantener en la explotación.

Por otro lado y lo que ejerce una influencia muy notable es que el incremento del número de lactación se asociaba al descenso de la producción con menor proporción de curvas de lactación de tipo LXP a medida que se elevaba la edad de las ovejas. Si bien interesa alcanzar una longevidad máxima en los sistemas productivos que garantice la rentabilidad de los animales, el conocimiento de esta información puede modular la estrategia de desecho en las granjas de ovino lechero lacau en intensivo, planteándose un objetivo de edad media del rebaño algo más joven de lo que actualmente se observa en ésta y en otras razas ovinas en España. Sin embargo, tampoco puede reducirse en gran medida ya que aumentaría mucho el coste de amortización de los animales; por lo que otra opción será mejorar el manejo y prevenir la enfermedad para tratar de aumentar la productividad de los animales más viejos.

En resumen, los resultados del presente estudio aportan valiosa información, además de herramientas que pueden ayudarnos a establecer objetivos para los principales índices manejo a nivel de explotación y a fijar pautas de selección que nos ayuden a mejorar la eficiencia productiva de los rebaños de lacau bajo manejo intensivo. De hecho, la productividad media anual del rebaño en estudio y sus índices productivos y económicos medios han ido mejorando a lo largo de los años en base al análisis y estudio de los datos, y al cambio de estrategias efectuado a tenor de la información resultante.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES.

El presente estudio permite concluir que bajo las condiciones intensivas de manejo de la raza ovina lacaune del presente estudio:

- La raza lacaune puede alcanzar un rendimiento productivo excepcional, comparada con otras razas en regímenes de explotación similares; y muy superior a la misma raza lacaune o a otras razas explotadas en regímenes semiintensivos o extensivos.
- Las funciones de polinomios funcionales o PF y Pollott Aditivo (Pollott y Gootwine, 2000) resultaron ser las más precisas y fáciles de aplicar para el ajuste de la curva de lactación de la oveja lacaune de cara a predecir la producción láctea.
- El modelo PF resultó ser un método simple que puede utilizarse para ajustar la curva de lactación sin necesidad de *software* específico cuando dispongamos de un amplio número de datos disponibles. Mientras, el modelo de Pollott Aditivo resultó ser el más adecuado para poder realizar interpretaciones biológicas de las funciones.
- La metodología de tipologías o cluster es una estrategia matemática adecuada y muy eficaz para el análisis de datos productivos en sistemas intensivos de producción de leche.
- Las siguientes tipologías de curvas de lactación fueron identificadas en las ovejas lacaune: LSI lactaciones cortas e improproductivas; LMN lactaciones cortas y producción normal; LLP lactaciones largas y productivas; y LXLP lactaciones largas y muy productivas. Las citadas tipologías difieren entre sí principalmente en la forma y longitud de la curva, siendo las más productivas las de mayor longitud y persistencia.
- Las ovejas presentaron una tendencia clara a mantener la tipología de curva de lactación entre una lactación y la siguiente, lo que sugiere que la tipología de la curva en la primera lactación podría ser utilizada para guiar las decisiones de manejo y de selección en la explotación.
- Los principales factores que afectan a la productividad de la raza lacaune bajo las condiciones de manejo intensivo son el mes de nacimiento (mejores producciones en las nacidas en septiembre), la edad de la oveja (cuanto mayor menor producción), la edad al primer parto (peor si menor 390 d o mayor de 450 d), la longitud del periodo seco y el intervalo entre partos (mayor producción a mayor intervalo entre partos), el mes del parto (mayor producción en las paridas en octubre, diciembre y marzo) y su potencial genético. De modo que podemos adaptar nuestras estrategias de manejo a fin de mejorar los resultados productivos.

BIBLIOGRAFÍA

9. BIBLIOGRAFÍA.

1. Acero Adámez, P., 2009, Planificación y manejo de la explotación de ovino de leche, Vol Tomo IV. Consejería de Agricultura y Ganadería.
2. AESLA 2014. Catálogo de Sementales. Disponible desde internet: [consulta: diciembre de 2014].
3. AGRP0001838D 2001. Décret du 22 janvier relatif à l'appellation d'origine contrôlée Roquefort.
4. Albarran-Portillo, B., Pollott, G.E., 2008, Genetic parameters derived from using a biological model of lactation on records of commercial dairy cows. J Dairy Sci 91, 3639-3648.
5. Ali, T.E., Schaeffer, L.R., 1987, Accounting for covariance among test day yields in dairy cows. Can J Anim Sci 67, 637-644.
6. Arbel, R., Bigun, Y., Ezra, E., Sturman, H., Hojman, D., 2001, The effect of extended calving intervals in high lactating cows on milk production and profitability. Journal of Dairy Science 84 600-608.
7. Archer, S.C., Green, M.J., Huxley, J.N., 2010, Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows. J Dairy Sci 93, 4045-4053.
8. Astiz, S., Gonzalez-Bulnes, A., Sebastian, F., Fargas, O., Cano, I., Cuesta, P., 2014, Maternal aging affects life performance of progeny in a Holstein dairy cow model. Journal of Developmental Origins of Health and Disease 5, 374-384.
9. Bachman, K.C., Schairer, M.L., 2003, Invited Review: Bovine Studies on Optimal Lengths of Dry Periods. J Dairy Sci 2003.
10. Barillet, F., 1985. Amélioration génétique de la composition du lait de brebis: l'exemple de la race Lacaune. Paris-Grignon, France.
11. Barillet, F., Boichard, D., 1994. Use of first lactation test-day data for genetic evaluation of the Lacaune dairy sheep. In: 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Guelph, ON, Canada, pp. 111-114.
12. Barillet, F., Boichard, D., Barbat, A., Astruc, J.M., Bonaiti, B., 1992, Use of an animal model for genetic evaluation of the Lacaune dairy sheep. Livestock Production Science 31, 287-299.
13. Barillet, F., Marie, C., Jacquin, M., Lagriffoul, G., Astruc, J.M., 2001, The French Lacaune dairy sheep breed: use in France and abroad in the last 40 years. Livestock Production Science 71, 17-29.
14. Bebbington, M., Lai, C.D., Zitakis, R., 2009, Modeling lactation curves: classical parametric models re-examined and modified. J Appl Statistics 36, 121-133.
15. Bécue Bertaut, M., Valls i Marsal, J. 2011. Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD (Barcelona, Servei d'Estadística. Universitat autònoma de Barcelona), p. 68.
16. Bello, N.M., Stevenson, J.S., Tempelman, R.J., 2012, Milk production and reproductive performance: Modern interdisciplinary insights into an enduring axiom. J Dairy Sci 95, 5461-5475.

17. Berger, Y., Mikolayunas, C., Thomas, D. 2010. Guide to raising dairy sheep. In UW Extension Livestock University of Wisconsin (Wisconsin-Madison), pp. 1-6.
18. Bergonier, D., De Crémoux, R., Rupp, R., Lagriffoul, G., Berthelot, X., 2003, Mastitis of dairy small ruminants. *Vet Res* 34, 689-716.
19. Bernier-Dodier, P., Girard, C.L., Talbot, B.G., Lacasse, P., 2011, Effect of dry period management on mammary gland function and its endocrine regulation in dairy cows. *J Dairy Sci* 94, 4922-4936.
20. Bizelis, J.A., Charismiadou, M.A., Rogdakis, E., 2000, Metabolic changes during the perinatal period in dairy sheep in relation to level of nutrition and breed II: early lactation. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 73-84.
21. Bocquier, F., Caja, G., 1999. Effects of nutrition on ewes' milk quality. In: Proceedings of the 5th Great Lakes Dairy Sheep Symposium, Brattleboro, Vermont, U.S.A., 4-6 de noviembre, pp. 1-15.
22. Butler, W., 2000, Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science* 60-61.
23. Butler, W.R., Fullenkamp, S.M., Cappitello, L.A., Handwerger, S., 1981, The relationship between breed and litter size in sheep and maternal serum concentrations of placental lactogen, estradiol and progesterone. *J Anim Sci* 53, 1077-1081.
24. Butler, W.R., Smith, R.D., 1989, Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive functions in dairy cattle. *J Dairy Sci* 72, 767-783.
25. Buxadé, C., 1996, *Zootecnia. Bases de producción animal. Producción ovina*, Vol VIII, 1ª edición Edition. Mundi-Prensa Libros, Madrid.
26. Byatt, J.C., Warren, W.C., Eppard, P.J., Staten, N.R., Krivi, G.G., Collier, R.J., 1992, Ruminant placental lactogens: structure and biology. *J Anim Sci* 70, 2911-2923.
27. Caja, G., de Rancourt, M., 2002, Situation actuelle et perspectives de la production des ovins laitiers en Espagne. *Options Méditerranéennes. Serie B: Etudes et Recherches* 39, 57-66.
28. Caja, G., Such, X., 1991, Situación de la producción de leche de oveja en España. Principales sistemas de producción. *OVIS*, 14, 11-27.
29. Cambero Muñoz, P. 1999. Cuaderno de la explotación de ovino (Servicio Agrario de Caja Duero).
30. Cannas, A., 2004a, Energy and protein requirements, In: Pulina, G. (Ed.) *Dairy sheep nutrition*. CAB Publishing, pp. 31-50.
31. Cannas, A., 2004b, Feeding of lactating ewes, In: Pulina, G. (Ed.) *Dairy sheep nutrition*. Caby publishing, London
32. Cannas, A., Nudda, A., Giuseppe, P. 2002. Nutritional strategies to improve lactation persistency in dairy ewes. In 8th Annual Great Lakes dairy sheep symposium (Ithaca, New York, USA), pp. 17-59.
33. Cappio-Borlino, A., Macciotta, N.P.P., Pulina, G., 1997, The shape of sarda ewe lactation curve analysed by a compartmental model. *Livestock Prod Sci* 51 89-96.
34. Cappio-Borlino, A., Pulina, G., Rossi, G., 1995, A non-linear modification of Wood's equation fitted to lactation curves of Sardinian dairy ewes. *Small Ruminant Research* 18, 75-79.

35. Capuco, A.V., Ellis, S.E., Hale, S.A., Long, E., Erdman, R.A., Zhao, X., Paape, M.J., 2003, Lactation persistency: insights from mammary cell proliferation studies *Journal of Animal Science* 81, 18-31.
36. Cardenas, C.S., 2009, Segmentation of bovine lactation curves, during the first third of lactation via cluster and lineal discriminant analysis. *Agro Sur* 37, 126-133.
37. Carta, A., Sanna, S.R., Casu, S., 1995, Estimating lactation curves and seasonal effects for milk, fat and protein in Sarda dairy sheep with a test day model. *Livest Prod Sci* 44, 37-44.
38. Castillo López, V., 2008. Evaluación de diferentes estrategias de ordeño en ovejas lecheras de raza Manchega y Lacaune: efectos de la disminución de la frecuencia de ordeño sobre la secreción y el almacenamiento de la ubre. UAB, Barcelona.
39. Castillo, V., Such, X., Caja, G., Casals, R., A.K., S., Albanell, E., 2009, Long- and short-term effects of omitting two weekend milkings on the lactational performance and mammary tight junction permeability of dairy ewes. *J Dairy Sci* 92, 3684-3695.
40. Casu, S., Carta, A., Robert-Granie, C., 2003, Modelling the kinetics of milk emission during machine milking in dairy ewes. *Ital J Anim Sci* 2, 524-526.
41. Casu, S., Labussière, J., 1972, Premiers résultats concernant la suppression d'une ou plusieurs traits par semaine chez la brebis Sarde. *Ann Zootech* 21, 223-232.
42. Cobby, J.M., Le Du, Y.L.P., 1978, On fitting curves to lactation data. *Animal Production* 26, 127-133.
43. Cole, J.B., Van Raden, P.M., 2006, Genetic evaluation and best prediction of lactation persistency *Journal of Dairy Science* 89, 4047-4052.
44. Contreras, A., Sierra, D., Sánchez, A., Corrales, J.C., Marco, J.C., Paape, M.J., Gonzalo, C., 2007, Mastitis in small ruminants. *Small Ruminant Research* 28, 145-153.
45. Cui, J., de Klerk, N., Abramson, M., Del Monaco, A., Benke, G., Dennekamp, M., A.W., M., Sim, M., 2009, Fractional Polynomials and Model Selection in Generalized Estimating Equations Analysis, With an Application to a Longitudinal Epidemiologic Study in Australia. *American Journal of Epidemiology* Volume 169, 113-121.
46. Chagas, L.M., Baass, J.J., Blache, D., Burke, C.R., Kay, J.K., Lindsay, D.R., Lucy, M.C., Martin, G.B., Meier, S., Rhodes, F.M., Roche, J.R., Thatcher, W.W., Webb, R., 2007, Invited review: New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. *J Dairy Sci* 90, 4022-4032.
47. Charismiadou, M.A., Bizelis, J.A., Rogdakis, E., 2000, Metabolic changes during the perinatal period in dairy sheep in relation to level of nutrition and breed. I. Late pregnancy. *J Anim Physiol Anim Nutr*, 61-72.
48. David, I., Astruc, J.M., Lagriffoul, G., Manfredi, E., Robert-Granie, C., Bodin, L., 2008, Genetic correlation between female fertility and milk yield in Lacaune sheep. *J Dairy Sci* 91, 4047-4052.
49. Daza-Andrada, A., 2002, Mejora de la productividad y planificación de explotaciones ovinas.
50. Daza Andrada, A. 1997. Sistemas de producción en la raza Merina. (Madrid, Edición Mundi-Prensa), pp. 401-417.

51. DEFRA 2011. Lameness in sheep. Disponible desde internet: <https://www.gov.uk/government/publications/lameness-in-sheep> [consulta: febrero de 2013].
52. Dhanoa, M.S., 1981, A note on an alternative form of the lactation model of Wood. *Anim Prod* 32, 349.
53. Dijkstra, J., France, J., Dhanoa, M.S., Maas, J.A., Hanigan, M.D., Rook, A.J., Beever, D.E., 1997, A model to describe growth patterns of the mammary gland during pregnancy and lactation. *J Dairy Sci* 80, 2340-2354.
54. Durbin, J., Watson, G.S., 1951, Testing for serial correlation in least squares regression, II. *Biometrika* 38, 159-179.
55. El Saied, U.M., de la Fuente, L.F., Primitivo, F.S., 2006, Phenotypic study on total and partial lifetime traits for dairy ewes. *Journal of Dairy Research* 73 101-108.
56. Elston, D.A., Glaseby, C.A., Neilson, D.R., 1989, Non-parametric lactation curves. *Animal Production* 48, 331-339.
57. Epstein, H. 1985. The Awassi sheep with special reference to the improved dairy type. In *FAO Animal Production and Health Paper* (Roma).
58. Eyal, E., Lawi, A., Folman, Y., Morag, M., 1978, Lamb and milk production of a flock of dairy ewes under an accelerated breeding regime. *J Agric Sci Camb* 91, 69-79.
59. FAOSTAT 2013. FAO Statistics (FAO). Disponible desde internet: [consulta: febrero de 2014].
60. FAOSTAT 2014. FAO Statistics. In Disponible desde internet: [consulta: septiembre de 2014]. (FAO).
61. FEAGAS 2011. Razas de ganado ovino. In *Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España* (Federación Española Asociaciones Ganado Selecto). Disponible desde internet: [consulta: febrero de 2015].
62. FENIL 2012. Producción de leche y productos lácteos. Federación Nacional de Industrias Lácteas. Disponible desde internet: [consulta: julio de 2013].
63. Fthenakis, G.C., Arsenos, G., Brozos, C., Fragkou, I.A., Giadinis, N.D., Glannenas, I., Mavrogianni, V.S., Papadopoulos, E., Valasi, I., 2012, Health management of ewes during pregnancy. *Anim Reprod Sci* 130, 198-212.
64. Gabiña, D., Arrese, F., Arranz, J., Beltrán de Heredia, I., 1993, Average milk yields and environmental effects on Latxa sheep. *J Dairy Sci* 76, 1191-1198.
65. Gargouri, A., Such, X., Caja, G., Casals, R., Ferret, A., Vergara, H., Peris, S., 1993, Estrategias de cría-ordeño en ovino lechero. Efecto del tipo de cría (libre o restringida) y número de ordeños diarios (2 ó 3) sobre la producción de leche de ovejas de raza Manchega. *ITEA* 12, 30-32.
66. Gelasakis, A.I., Arsenos, G., Valergakis, G.E., Fortomaris, P., Banos, G., 2010, Effect of lameness on milk production in a flock of dairy sheep. *Vet Rec* 2010, 533-534.
67. Gil, M.J., Sánchez, M., Santos, R., De León, E., 2003. Resultados productivos del grupo ovino de leche COVAP. In: *XXVIII Jornadas de la SEOC*, Badajoz, 25-27 de septiembre, pp. 98-101.
68. Gipson, T.A., Grossman, M., 1989, Diphasic analysis of lactation curves in dairy goats. *J Dairy Sci* 72, 1035-1044.

69. Gonzalo, C., Ariznabarreta, A., Carriedo, J.A., San Primitivo, F., 2002, Mammary pathogens and their relationship with somatic cell count and milk yield losses in dairy ewes. *J Dairy Sci* 85, 1460-1467.
70. Gonzalo, C., Carriedo, J.A., blanco, M.A., Beneitez, E., Juárez, M.T., De la Fuente, L.F., San Primitivo, F., 2005, Factors of variation influencing bulk tank somatic cell count in dairy sheep. *J Dairy Sci* 88, 969-974.
71. Gonzalo, C., Tardáguila, J.A., de la Fuente, L.F., San Primitivo, F., 2004, Effects of selective and complete dry therapy on prevalence of intramammary infection and on milk yield in the subsequent lactation in dairy ewes. *J Dairy Res* 71, 33-38.
72. Gootwine, E., 2011, Mini review: breeding Awassi and Assaf sheep for diverse management conditions. *Trop. Anim. Health. Prod.* 43, 1289-1296.
73. Gootwine, E., Pollott, G.E., 2000, Factors affecting milk production in Improved Awassi dairy ewes. *Anim Sci J* 71, 607-615.
74. Gringoli, G., Veneziano, V., Mezzino, L., Morgoglione, M., Pennacchio, S., Rinaldi, L., Salamina, V., 2009, The effect of moxidectin 0,1% vs ivermectin 0,08% on milk production in sheep naturally infected by gastrointestinal nematodes. *BMC Vet Res* 12, 41.
75. Gringoli, G., Veneziano, V., Pennacchio, S., Mezzino, L., Santaniello, M., Schioppi, M., Fedele, V., Rinaldi, L., 2007, Economic efficacy of anthelmintic treatments in dairy sheep naturally infected by gastrointestinal strongyles. *Parassitologia* 49, 201-2107.
76. Groenewald, P.C.N., Ferreira, H.J., van der Merwe, H.J., Slippers, S.C., 1995, A mathematical model for describing and predicting the lactation curve of Merino ewes. *Anim Sci J* 61, 95-101
77. Grossman, M., Hartz, S.M., Koops, W.J., 1999, Persistency of lactation yield: a novel approach. *J Dairy Sci* 82, 2192-2197.
78. Grossman, M., Koops, W.J., 1988, Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *J Dairy Sci* 71.
79. Grossman, M., Koops, W.J., 2003, Modeling extended lactation curves of dairy cattle: a biological basis for the multiphasic approach. *J Dairy Sci* 86, 988-998.
80. Grummer, R.R., 2007, Strategies to improve fertility of high yielding dairy farms: Management of the dry period. *Theriogenology* 68, 281-288.
81. Guest, P.G. 1961. Numerical methods of curve fitting (Cambridge University Press).
82. Gutierrez-A, N. 1985. Economic constraints on sheep and goat production in developing countries. In *FAO Small ruminant production in the developing countries*, Timon, V.M., Hanrahan, J.P., eds. (Sofia, Bulgaria, FAO).
83. Hartigan, J.A., 1975, Clustering algorithms. John Wiley and sons, Inc, New York.
84. Haworth, G.M., Tranter, W.P., Chuck, N., Cheng, Z., Wathes, D.Z., 2008, Relationships between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows. *Vet Rec* 162, 643-647.
85. Hernandez, F., Elvira, L., Fernandez, B., Egea, M., Gonzalez-Bulnes, A., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2014. Effects of systemic intramammary antibiotic therapy during the dry period on the performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. In: *World Buiatrics Congress*, Cairns, Australia, p. 134.

86. Hernandez, F., Elvira, L., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2012, Influence of dry period length on reproductive performance and productivity of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. *J Dairy Res* 79, 352-360.
87. Hernandez, F., Elvira, L., Gonzalez-Martin, J.V., Gonzalez-Bulnes, A., Astiz, S., 2011, Influence of age at first lambing on reproductive and productive performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. *J Dairy Res* 4, 1-8.
88. Hervás, G., Ramella, J.L., López, S., González, J.S., Mantecón, A.R., 2006, Effect of omitting one or two milkings weekly on lactational performance in dairy ewes. *J Dairy Res* 73, 207-215.
89. Huertas, G. G.; Pérez Cabal, M. A.; Hernández, F.; Alenda, R., 2007, Estudio de la primera lactación de ovejas Lacaune y Assaf en sistema de producción intensivo. ITEA. Producción animal
90. Huidobro, F., 1988, Effects of suppressing sunday afternoon milking in Manchega sheep. *ITEA* 78, 33-37.
91. ICAR 1992. International Regulations for Milk Recording in Sheep, l'Elevage, I.d., ed. (Paris), p. 15.
92. Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P.L., Van der Weijden, G.C., Hogeveen, H., 2011, Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *Journal of Dairy Science* 94 3811-3823.
93. INE 2010. Instituto Nacional de Estadística (INE). Disponible desde internet: http://www.ine.es/dyngs/INEbase/en/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176802&menu=ultiDatos&idp=1254735976607 [consulta: febrero de 2012].
94. Infocarne 2011. Raza ovina de la Unión Europea: Lacaune. Disponible desde internet: [consulta: enero de 2012].
95. INRA, 1988, Alimentation des bovins, ovins et caprins, Paris.
96. Jamrozik, J., Fatehi, J., Schaeffer, L.R., 2007, Application of robust procedures for estimation of breeding values in multiple-trait random regression testday model. *Journal of Animal Breeding Genetics* 124, 3-11.
97. Jonas, E., Thomson, P.C., Hall, E.J., McGill, D., Lam, M.K., Raadsma, H.W., 2011, Mapping quantitative trait loci (QTL) in sheep. IV. Analysis of lactation persistency and extended lactation traits in sheep. *Genetics Selection Evolution* 21, 22.
98. Juste Jordan, R.A., García Pérez, A.L., 1991, Effect of treatment with netobimin on milk production of sheep. *Vet Parasitol* 38, 173-183.
99. Kassem, R., Owen, J.B., Fadel, I., 1989, Rebreeding activity in milking Awassi ewes under semi-arid conditions. *Anim Prod* 49, 89-93.
100. Keown, J.F., Everett, R.W., Empet, N.B., Wadell, L.H., 1986, Lactation curves. *J Dairy Sci* 69 769-781.
101. Knight, C.H., Peaker, M., Wilde, C.J., 1998, Local control of mammary development and function. *Rev Reprod* 3, 104-112.
102. Knight, C.H., Wilde, C.J., 1993, Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Livest Prod Sci* 35, 3-19.

103. Knight, T.W., Atkinson, D.S., Haack, N.A., Palmer, C.R., Rowland, K.H., 1993, Effects of suckling regime on lamb growth rates and milk yields of Dorset ewes. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 36, 215-222.
104. Knight, T.W., Gosling, L.S., 1995, Effects of milking frequency and machine-stripping on the yield and composition of milk from Poll Dorset ewes. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 38, 123-130.
105. Labussière, J., Combaud, J.F., Petrequin, P., 1974, Influence de la fréquence des traites et des tétées sur la production laitière des brebis Préalpes du sud. *Ann Zootech* 23, 445-457.
106. Lambert, P.C., Smith, L.K., Jones, D.R., Botha, J.L., 2005, Additive and multiplicative covariate regression models for relative survival incorporating fractional polynomials for time-dependent effects. *Stat Med* 24, 3871-3885.
107. Lebart, L., Morineau, A., Piron, M., 1995, *Statistique Exploratoire Multidimensionnelle*. Dunod, Paris.
108. Leitner, G., Chaffer, M., Shamay, A., Shapiro, F., Merin, U., Ezra, E., Saran, A., Silanikova, N., 2004, Changes in milk composition as affected by subclinical mastitis in sheep. *J Dairy Sci* 87, 46-52.
109. Leitner, G., Silanikove, N., Merin, U., 2008, Estimate of milk and curd yield loss of sheep and goats with intramammary infection and its relation to somatic cell count. *Small Ruminant Research* 74, 221-225.
110. Leroy, J.L., Opsomer, G., Van Soom, A., Goovaerts, I.G., Bols, P.E., 2008, Reduced fertility in high-yielding dairy cows: are the oocyte and embryo in danger? Part I. The importance of negative energy balance and altered corpus luteum function to the reduction of oocyte and embryo quality in high-yielding dairy cows. *Reprod Domest Anim* 2008, 612-622.
111. Loynes, I.J. 1983. Sheep house design In *Housing sheep*. Farm buildings information centre (Kenilworth, Stoneleigh, UK).
112. Macciotta, N.P., Cappio-Borlino, A., Pulina, G., 1999, Analysis of environmental effects on test day milk yields of Sarda dairy ewes. *J Dairy Sci* 82, 2212-2217.
113. MAGRAMA 2013a. Anuario de Estadística 2012-2013. Disponible desde internet: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/> [consulta: febrero de 2015].
114. MAGRAMA 2013b. Caracterización del sector ovino y caprino en España año 2013. Disponible desde internet: http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/CARACTERIZACION_DEL_SECTOR_OVINO_Y_CAPRINO_EN_ESPAÑA_2013_tcm7-271704.pdf [consulta: febrero de 2015].
115. MAGRAMA 2015. Catálogo de razas ARCA. Disponible desde internet: <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/> [consulta: febrero de 2015].
116. MARM 2010. Razas de ganado: catálogo oficial de España (Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). Disponible desde internet: [consulta: marzo de 2014].
117. Marnet, P.G., McKusick, B.C., 2001, Regulation of milk ejection and milkability in small ruminants. *Livest Prod Sci* 70, 125-133.

118. Masselin, S., Sauvant, D., Chapoutot, P., Milan, D., 1987, Les modèles d'ajustement des courbes de lactation *Annales de Zootechnie* 36 171-206.
119. Meuret, M. 2006. Les pratiques pastorales entre temps court de l'alimentation des troupeaux et temps long des ressources et des milieux. In *Actualité et modernité du pastoralisme* (Séance, CR Académie d'agriculture).
120. Milan, M.J., Caja, G., Gonzalez-Gonzalez, R., Fernandez-Perez, A.M., Such, X., 2011, Structure and performance of Awassi and Assaf dairy sheep farms in northwestern Spain. *J Dairy Sci* 94, 771-784.
121. Mollard, A., Chatelier, V., Codron, J.M., Dupraz, P., Jaccquet, F. 2002. Vers une gestion intégrée agriculture-environnement. Diagnostic, solutions, perspectives. In *Agriculture, territoire, environnement dans les politiques européennes*(ATEPE) (Dossier de l'INRA).
122. Moore, R.K., Kennedy, B.W., Schaeffer, L.R., Moxley, J.E., 1991, Relationships between age and body weight at calving and production in first lactation Ayrshires and Holsteins. *J Dairy Sci* 74, 269-278.
123. Morant, S.V., Gnanasakthy, A., 1989, A new approach to the mathematical formulation of lactation curves. *Anim Prod* 49, 151-162.
124. Morrissey, A.D., Cameron, A.W.N., Tilbrook, A.J., 2008, Pregnancy does not affect commercial milk yield in dairy ewes managed to lamb at 9-month intervals. *Small Ruminant Research* 76, 211-214.
125. Natzke, R.P., Everett, R.W., Bray, D.R., 1975, Effect of drying off practices on mastitis infection. *Journal of Dairy Science* 58 1828-1835.
126. Neal, H.D., Thornley, J.H.M., 1983, The lactation curve in cattle: a mathematical model of the mammary gland. *Journal of Agricultural Science* 101, 389-400.
127. Negrão, J.A., Marnet, P.G., Labussière, J., 2001, Effect of milking frequency on oxytocin release and milk production in dairy ewes. *Small Ruminant Research* 39, 181-187.
128. Neville, M.C., McFadden, T.B., Forsyth, I., 2002, Hormonal regulation of mammary differentiation and milk secretion. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 7, 49-66.
129. Nudda, A., Bencini, R., Mijatovic, S., Pulina, G., 2002, The yield and composition of milk in Sarda, Awassi, and Merino sheep milked unilaterally at different frequencies. *J Dairy Sci* 85, 2879-2884.
130. Olori, V.E., Brotherstone, S., Hill, W.G., McGuirk, B.J., 1999, Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. *Livestock Production Science* 58, 55-63.
131. Onyiro, O.M., Offer, J., Brotherstone, S., 2008, Risk factors and milk yield losses associated with lameness in Holstein-Friesian dairy cattle. *Animal* 2, 1230-1237.
132. Oravcová, M., Margetín, M., Peskovicová, D., Dano, J., Milerski, M., Hetenyi, L., Polák, P., 2006, Factors affecting milk yield and ewe's lactation curves estimated with test-day models. *Czech J Anim Sci* 51, 483-490.
133. Paladini, D., Rustico, M., Viora, E., Giani, U., Bruzzese, D., Campogrande, M., Martinelli, P., 2005, Fetal size charts for the Italian population. Normative curves of head, abdomen and long bones. *Prenat Diagn* 25, 456-464.
134. Papachristoforou, C., A., R., Mavrogenis, A.P., 1982, The effect of milking frequency on the milk production of Chios ewes and Damascus goats. *Ann Zootech* 31, 37-46.

135. Peralta-Lailson, M., Trejo-González, A.A., Peraza-Villagómez, P., Berruecos-Villalobos, J.M., Vasquez, C.G., 2005, Factors affecting milk yield and lactation curve fitting in the Creole sheep of Chiapas-Mexico. *Small Ruminant Research* 58, 265-273.
136. Pérochon, L., Coulon, J.B., Lescourret, F., 1996, Modelling lactation curves of dairy cows with emphasis on individual variability. *Animal Science* 63, 189-200.
137. Pinedo, P., Risco, C., Melendez, P., 2011, A retrospective study on the association between different lengths of the dry period and subclinical mastitis, milk yield, reproductive performance, and culling in Chilean dairy cows. *J Dairy Sci* 94, 106-115.
138. Pirlo, G., Miglior, F., Speroni, M., 2000, Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. *J Dairy Sci* 83, 603-608.
139. Pollott, G.E., 2000, A biological approach to lactation curve analysis for milk yield. *J Dairy Sci* 83, 2448-2458.
140. Pollott, G.E., Gootwine, E., 2000, Appropriate mathematical models for describing the complete lactation of dairy sheep. *Anim Sci J* 71, 197-207.
141. Pollott, G.E., Gootwine, E., 2004, Reproductive performance and milk production of Assaf sheep in an intensive management system. *J Dairy Sci* 87, 3690-3703.
142. Portolano, B., Spatafora, F., Bono, G., Margiotta, S., Todaro, M., Ortoleva, V., Leto, G., 1996, Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. *Small Ruminant Research* 24, 7-13.
143. Poux, X., Beaufoy, G., Bignal, E., Romain, B., 2009, Les systèmes ovins et caprins de l'Union européenne: implications pour l'environnement. *Options Méditerranéennes. Serie A* 91, 113-123.
144. Pryce, J.E., Royal, M.D., Garnsworthy, P.C., Mao, I.L., 2004, Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock Production Science* 86, 125-135.
145. Rassu, S.P.G., Enne, G., Ligios, S., Molle, G., 2004, Nutrition and reproduction, In: Pulina, G. (Ed.) *Dairy sheep nutrition*. Cabi publishing, London, UK.
146. Reader, J.D., Green, M.J., Kaler, J., Mason, S.A., Green, L.E., 2011, Effect of mobility score on milk yield and activity in dairy cattle. *J Dairy Sci* 94, 5045-5052.
147. Regli, J.G. 1999. Farm adapted breeds: a panel presentation of flock performance records for Lacaune dairy sheep In *Proceedings of the 5th Great Lakes Dairy Sheep Symposium*, (Brattleboro, Vermont, USA), pp. 51-54.
148. RICA 2003. Agriculture database (European Commission). Disponible desde internet: [consulta: febrero de 2012].
149. Roche, J.F., 2006, The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Anim Reprod Sci* 96, 282-296.
150. Rodríguez Ruiz, L., 2013. Análisis de la rentabilidad en las explotaciones de ovino de leche en Castilla y León. Universidad de León, León.
151. Ronchi, B., Bernabucci, U., Bertoni, G., 1993. Valutazione comparata del metodo body condition score (BCS) nelle razze ovine Sarda e Lacaune. In: S.I.S.VET., Italy, pp. 1985-1989.
152. Rook, A.J., France, J., Dhanoa, M.S., 1993, On the mathematical description of lactation curves. *Journal of Agricultural Science* 121, 97-102.

153. Royston, P., Altman, D.G., 1994, Regression using fractional polynomials of continuous covariates. *Applied Statistics* 43, 429-467.
154. Royston, P., Ambler, G., Sauerbrei, W., 1999, The use of fractional polynomials to model continuous risk variables in epidemiology. *Int J Epidemiol* 28, 964-974.
155. Royston, P., Sauerbrei, W., 2004, A new approach to modelling interactions between treatment and continuous covariates in clinical trials by using fractional polynomials. *Stat Med* 23, 2509-2525.
156. Royston, P., Sauerbrei, W. 2008. *Multivariable Model-building* (Wiley).
157. Ruiz, R., Oregui, L.M., Herrero, M., 2000, Comparison of models for describing the lactation curve of latxa sheep and an analysis of factors affecting milk yield. *J Dairy Sci* 83, 2709-2719.
158. Sakul, H., Boylan, W.J., 1992, Lactation curves for several US sheep breeds. *Anim Prod* 54, 229-233.
159. Sánchez-Rodríguez, M. 2011. Sector ovino lechero. In *Máster oficial de la Universidad de Córdoba en zootecnia y gestión sostenible: ganadería ecológica e integrada*.
160. Sánchez Belda, A., Sánchez Trujillano, M.C. 1979. *Razas ovinas españolas* (Madrid, M.A.P.A.), p. 888.
161. Sánchez Rodríguez, M. 2011. Sector ovino lechero. In *Máster oficial de la Universidad de Córdoba en zootecnia y gestión sostenible: ganadería ecológica e integrada*.
162. SAS 2010. User's Guide. In *Statistical analysis systems. SAS®*. (Cary, NC., Statistical Analysis Systems Institute. Inc.).
163. Sauerbrei, W., Royston, P., 1999, Building multivariable prognostic and diagnostic models: transformation of the predictors using fractional polynomials. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 162, 71-94.
164. Schaeffer, L.R., Jamrozik, J., Kistemaker, G.J., Van Doormaal, B.J., 2000, Experience with a test-day model. *J Dairy Sci* 83, 1135-1144.
165. Schoknecht, P.A., Currie, W.B., Bell, A.W., 1992, Kinetics of placental lactogen in mid- and late-gestation ovine fetuses. *J Endocrinol* 133, 95-100.
166. Schoknecht, P.A., Nobrega, S.N., Petterson, J.A., Ehrhardt, R.A., Slepatis, R., Bell, A.W., 1991, Relations between maternal and fetal plasma concentrations of placental lactogen and placental and fetal weights in well-fed ewes. *J Anim Sci* 69, 1059-1063.
167. Sevi, A., Casamassima, D., Pulina, G., Pazzona, A., 2009, Factors of welfare reduction in dairy sheep and goats. *Ital J Anim Sci* 8, 81-101.
168. Sevi, A., Massa, S., Annicchiarico, G., Dell'Aquila, S., Muscio, A., 1999, Effect of stocking density on ewes milk yield and incidence of subclinical mastitis. *J Dairy Res* 66, 489-499.
169. Sherchand, L., McNew, R.W., Kellogg, D.W., Johnson, Z.B., 1995, Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *J Dairy Sci* 78, 2507-2513.
170. Silvestre, A.M., Petim-Batista, F., Colaco, J., 2006, The accuracy of seven mathematical functions in modeling dairy cattle lactation curves based on test-day records from varying sample schemes. *J Dairy Sci* 89, 1813-1821.
171. Soelkner, J., Fuchs, W., 1987, A comparison of different measures of persistency with special respect to variation of test-day yields. *Livestock Production Science* 16 305-319

172. Spad, N. 2003. Système Portable pour l'Analyse des Données (France, DECISIA).
173. Stelwagen, K., 2001, Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve. *J Dairy Sci* 84, 204-211.
174. Such, X., Caja, G., Pere, L., 1998. Comparison of milking ability between Manchega and Lacaune dairy ewes. In: 6th International Symposium on the Milking of Small Ruminants, Athens, Greece, September 26-October 1, pp. 45-50.
175. Tozer, P.R., Huffaker, R.G., 1999, Mathematical equations to describe lactation curves for Holstein-Friesian cows in New South Wales. *Aust J Agric Res* 50, 431-440.
176. Treacher, T.T., Caja, G., 2002, Nutrition during lactation, In: Feer, M., Dove, H. (Eds.) *Sheep Nutrition*. CAB International, Wallingford, UK.
177. Ugarte, E., Ruiz, R., Gabiña, D., I., B.D.H., 2001, Impact of high-yielding foreign breeds on the Spanish dairy sheep industry. *Livestock Production Science* 71, 3-10.
178. Ugarte, E., Serrano, M., de la Fuente, M.F., Pérez-Guzmán, M.D., Alfonso, L., Gutierrez, J.P. 2002. Situación actual de los programas de ovino de leche. . In XI Reunión Nacional de Mejora Genética Animal. (Pamplona).
179. UPRALacaune, 2005, La race lacaune laitRodez.
180. Valentín-Gamazo, P., 2008, El sector de la leche de oveja y cabra en España. *Cuadernos de la Tierra, Ovino-Caprino* 12, 39-43.
181. Vargas, B., Koops, W.J., Herrero, M., Van Arendonk, J.A.M., 2000, Modelling Extended Lactations of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 83, 1371-1380.
182. Walsh, S.W., Williams, E.J., Evans, A.C., 2011, A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim Reprod Sci* 123, 127-138.
183. West, J.W., 2003, Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci* 86, 2131-2144.
184. Wilde, C.J., Quarrie, L.H., Tonner, E., Flint, D.J., Peaker, M., 1997, Mammary apoptosis. *Livest Prod Sci* 50 29-37.
185. Wilmink, J.B.M., 1987, Adjustment of test day milk, fat and protein yield for age, season and stage of lactation. *Livestock Production Science* 16, 335-348.
186. Wood, P.D.P., 1967, Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216 164-165.
187. Wood, P.D.P., 1977, The biometry of lactation. *J Agric Sci Camb* 88, 333-339.

ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES

10. ARTÍCULOS Y COMUNICACIONES

A continuación adjunto los artículos y comunicaciones derivados del trabajo de tesis:

- Elvira, L., Hernandez, F., Cuesta, P., Cano, S., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2013. Factors affecting the lactation curves of intensively managed sheep based on a clustering approach. J Dairy Res 80 (4), 439-447.
- Elvira, L., Hernandez, F., Cuesta, P., Cano, S., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2013. Accurate mathematical models to describe the lactation curve of Lacaune dairy sheep under intensive management. Animal 7(6): 1044-1052.
- Elvira, L., Hernandez, F., Cuesta, P., Cano, S., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2012 Applying the Fractional Polynomial technique to describe the lactation curve of Lacaune dairy sheep under intensive management (poster). XXVII World Buiatrics Congress, Lisboa 3-8 Junio.

Y los asociados al presente trabajo de tesis:

- Hernandez, F., Elvira, L., Fernandez, B., Egea, M., Gonzalez-Bulnes, A., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2015. Effects of intramammary antibiotic therapy during the dry period on the performance of Lacaune dairy sheep under intensive management. J Dairy Res 82(1): 95-101.
- Hernandez, F., Elvira, L., Fernandez, B., Egea, M., Gonzalez-Bulnes, A., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2014. Effects of systemic intramammary antibiotic therapy during the dry period on the performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. In: World Buiatric Congress, Cairns, Australia, p. 134.
- Hernandez, F., Elvira, L., Gonzalez-Martin, J.V., Astiz, S., 2012, Influence of dry period length on reproductive performance and productivity of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. J Dairy Res 79, 352-360.
- Hernandez, F., Elvira, L., Gonzalez-Martin, J.V., Gonzalez-Bulnes, A., Astiz, S., 2012. The Dry Period Length of Lacaune dairy sheep under intensive management: factors and effects on the productivity (comunicación oral). XXVII World Buiatrics Congress, Lisbon 3-8 Jun 2012.
- Hernandez, F., Elvira, L., Gonzalez-Martin, J.V., Gonzalez-Bulnes, A., Astiz, S., 2011, Influence of age at first lambing on reproductive and productive performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system. J Dairy Res 4, 1-8.

Factors affecting the lactation curves of intensively managed sheep based on a clustering approach

Laura Elvira¹, Fernando Hernandez², Pedro Cuesta³, Santiago Cano³, Juan-Vicente Gonzalez-Martin^{1,4} and Susana Astiz^{5*}

¹ TRIALVET S.L., C/Encina, 22, 28721 Cabanillas de la Sierra, Madrid, Spain

² Granja Cerromonte S.L., San Juan de la Encinilla, 05358 Ávila, Spain

³ Informatics Department for Research Support, Complutense University of Madrid, Avda de la Complutense s/n, 28040 Madrid, Spain

⁴ Department of Animal Medicine and Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Complutense University of Madrid (UCM), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040, Madrid, Spain

⁵ Department of Animal Reproduction, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

Received 4 March 2013; accepted for publication 3 July 2013; first published online 4 September 2013

This study investigated factors affecting milk production and lactation curves from complete lactations of Lacaune dairy sheep. Animals were part of a single flock under intensive management and were milked twice daily starting at lambing. The results of the analyses of 7788 complete lactations showed an average total milk yield of 434 ± 183 l from lactations 234 ± 63 d long, with an average lambing interval of 302 ± 65 d. A Pollott additive mathematical model was used to estimate complete lactation curves. Clustering analysis identified four lactation types among Lacaune dairy sheep differing mainly in productivity i.e. milk yield per lactation (MY) and length of lactation (DIM). The so-called SL type involved short, less productive lactations ($n=2137$; 27.4%; $MY=222 \pm 75.5$ l and $DIM=182 \pm 52.9$ d). The SN type involved short lactations of normal productivity ($n=2039$; 26.2%; $MY=396 \pm 73.7$ l and $DIM=205 \pm 33.1$ d). The LP type involved long and productive lactations ($n=2169$; 27.9%; $MY=487 \pm 70.5$ l and $DIM=265 \pm 40.7$ d), while the LVP type included long and extremely productive lactations ($n=1443$; 18.5%; $MY=694 \pm 114.0$ l and $DIM=295 \pm 54.7$ d). Sheep showing the best lactation curves were usually younger than other sheep, and they had higher yield during the previous lactation, a shorter previous dry period (55 ± 50.4 for LP and 61 ± 55.0 d for LVP types) and longer lambing intervals. In addition, they tended to be born in September and to lamb in March, October and December. Sheep were remarkably stable in their lactation curve behaviour: the curve type observed for the first lactation was highly likely to persist in subsequent lactations ($P<0.0001$). These results suggest that farmers can use the shape of the first lactation curve to guide their selection of ewes for breeding and retention on the farm, thereby improving flock productivity.

Keywords: Lacaune, dairy sheep, lactation curve, intensive management, factors, types.

Lacaune sheep originated in France and produce the milk used to prepare Roquefort cheese. This breed has become one of the world's highest-yielding milk sheep breeds, with average daily milk yields of 1.59 l and a total milk yield of 270 l over a 165-d lactation period (Barillet et al. 2001). Since 1992, 17 countries have officially imported dairy Lacaune from France. In Spain, for example, the Lacaune breed produces a standard daily milk yield of 1.43 l,

compared with Manchega production of 0.75 l (Such & Caja, 1995). In Spain, our group has observed mean milk yields of 448 l/ewe over a 238-d lactation period (Hernandez et al. 2011). In Canada, the productivity of the Lacaune is 330 l in the first lactation (lactation period, 220 d) and 392 l in the second and subsequent lactations over a 241-d lactation period (Regli, 1999).

Production of Roquefort cheese is strictly regulated by legislation of the European 'protected designation of origin' (PDO) scheme. This legislation mandates animal management involving only one lambing per year and a 30-d suckling period. For producers outside the Roquefort

*For correspondence; e-mail: astiz.susana@inia.es

Accurate mathematical models to describe the lactation curve of Lacaune dairy sheep under intensive management

L. Elvira¹, F. Hernandez², P. Cuesta³, S. Cano³, J.-V. Gonzalez-Martin^{1,4} and S. Astiz^{5†}

¹TRIALVET S.L., C/ Encina, 22, 28721 Cabanillas de la Sierra, Madrid, Spain; ²Granja Cerromonte S.L., San Juan de la Encinilla, 05358 Ávila, Spain; ³Informatics Department for Research Support, Complutense University of Madrid, Avda de la Complutense s/n, 28040 Madrid, Spain; ⁴Department of Animal Medicine and Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Complutense University of Madrid (UCM), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain; ⁵Department of Animal Reproduction, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

(Received 28 April 2012; Accepted 20 October 2012)

Although the intensive production system of Lacaune dairy sheep is the only profitable method for producers outside of the French Roquefort area, little is known about this type of systems. This study evaluated yield records of 3677 Lacaune sheep under intensive management between 2005 and 2010 in order to describe the lactation curve of this breed and to investigate the suitability of different mathematical functions for modeling this curve. A total of 7873 complete lactations during a 40-week lactation period corresponding to 201 281 pieces of weekly yield data were used. First, five mathematical functions were evaluated on the basis of the residual mean square, determination coefficient, Durbin Watson and Runs Test values. The two better models were found to be Pollott Additive and fractional polynomial (FP). In the second part of the study, the milk yield, peak of milk yield, day of peak and persistency of the lactations were calculated with Pollot Additive and FP models and compared with the real data. The results indicate that both models gave an extremely accurate fit to Lacaune lactation curves in order to predict milk yields ($P = 0.871$), with the FP model being the best choice to provide a good fit to an extensive amount of real data and applicable on farm without specific statistical software. On the other hand, the interpretation of the parameters of the Pollott Additive function helps to understand the biology of the udder of the Lacaune sheep. The characteristics of the Lacaune lactation curve and milk yield are affected by lactation number and length. The lactation curves obtained in the present study allow the early identification of ewes with low milk yield potential, which will help to optimize farm profitability.

Keywords: Lacaune, dairy sheep, lactation curve, curve fitting, fractional polynomial

Implications

Lacaune is a global sheep breed with high milk yield. Although intensive production systems of Lacaune are the only profitable method for producers outside the Roquefort area, little is known about this type of production system. Using 7873 lactations, this study examines mathematical functions for their ability to model the lactation of Lacaune sheep under intensive management. These results lay the foundation for further studies, which will help farmers detect factors affecting yields and detect ewes with low milk yield potential early in lactation. This will help them to make correct decisions to optimize profitability.

Introduction

Lacaune sheep originated in France and produced the milk used to prepare Roquefort cheese. This breed has become

one of the world's high-yielding milk ovine breeds, with average daily milk yields of 1.59 l and a total milk yield of 270 l over a 165-day lactation period (Barillet *et al.*, 2001). In Spain, our group has observed mean milk yields of 448 l/ewe in an intensively managed flock, with a mean lactation length of 238 days (Hernandez *et al.*, 2011). Production of Roquefort cheese is strictly regulated by legislation of the European scheme of geographical indication named 'protected designation of origin'. This scheme promotes and protects names of quality agricultural products and food-stuffs. The farm management mandated by this legislation includes one lambing per year and 30-day suckling periods. For producers outside of the Roquefort area, intensive systems and its management is the only way to fully exploit animal potential. However, information about the dairy performance of Lacaune sheep during complete lactation periods under intensive management is scarce.

Modeling of lactation curves is an alternative way to analyze factors affecting milk yields. Modeling of lactation

[†] E-mail: astiz.susana@inia.es

Ernesto A. de S.



XXVII
world
buiatrics
congress 2012
lisbon portugal

3 - 8 June
Lisbon Congress Center

Abstract Book



Conclusions: For the first time, we showed strong differences of clinical sensitivity between two ovine breeds upon BTV inoculation. Our results suggest that intrinsic host factors control the sensitivity to the BT disease, probably related to the quality of their innate responses.

OC: 197

Chronic proliferative rhinitis in sheep associated with salmonella enterica subspecies diarizonae

Lacasta, D.; Ferrer Miguel L.; Ramos José J.; Bueso Pedro J.; Fernandez A.; Ruiz De Arcaute M.; González María J.; Espada M.; De Las Heras M.

Veterinary Faculty, University of Zaragoza, Spain

Objectives: This report describes the clinical, histopathological and immunohistochemistry findings of 21 clinical cases of chronic proliferative rhinitis associated with *Salmonella enterica* subsp. *diarizonae* serovar 61:k:1,5,(7).

Materials and Methods: During the last 12 years, 21 clinical cases of chronic proliferative rhinitis associated with *Salmonella enterica* subsp. *diarizonae* have been diagnosed in the Veterinary Faculty Ruminant Medical Service at the University of Zaragoza, Spain. Some of the affected animals were hospitalized for more detailed examination at the Ruminant Medical Service at the Veterinary Faculty of Zaragoza. Data of clinical parameters were retrieved and haematological and biochemical analyses were performed. Post-mortem examination was carried out and immunohistochemistry analyses were also performed. Microbiological study and serotyping was carried out at the alimentary laboratory of Zaragoza and Central Veterinary Laboratory (Algete, Madrid, Spain).

Results: Chronic rhinitis in sheep is commonly associated with parasites and also fungus (Silva et al. 2007a). However, few references are found in the literature of this chronic inflammations associated with bacteria of the *Salmonella* genus. Thus, Meehan et al. (1992) reported two cases of chronic proliferative rhinitis associated with *Salmonella arizonae* serovar 61:k:1,5,(7) infection in the United Kingdom. In all the animals of the study the clinical signs and the histopathological findings were similar. The clinical presentation began with a rhinitis causing a characteristic snore. This clinical signs worsened until bilateral proliferation obstructed the upper respiratory forcing the animal to mouth breathing. At the same time, the animals lost weight until cachexia. In the 21 cases *Salmonella enterica* subsp. *diarizonae* serovar 61:k:1,5,(7) was isolated. Moreover, no significant abnormalities were observed in routine blood biochemistry, but the haematology showed a relevant anaemia in some of the cases. Histopathological findings revealed a mucosa several times thicker than normal that had multiple polypoids. Immunohistochemistry labelled cocobacillary structures either in small amounts or very numerous inside epithelial cells.

Conclusions: It is possible to conclude that *Salmonella enterica* subsp. *diarizonae* serovar 61:k:1,5,(7) is an infective agent in sheep, being able to develop chronic proliferative rhinitis that cause the animal death.

OC: 198



The Dry Period Length of Lacaune dairy sheep under intensive management: factors and effects on the productivity

Astiz, S.; Hernández F.; Elvira L.; González-martín J.

Animal Reproduction Department, INIA, Madrid, Spain

Objectives: The present study investigated the effect of the length of the dry period (DP) on the performance of Lacaune sheep under intensive management conditions as well as the factors that could influence DP.

Materials and Methods: Records from 8136 lactations from 4220 sheep from one farm, for the period 2005-2010, were studied. The DP were classified into five intervals: DP-XS (very short, 1-30d), DP-S (short, 31-60 days), DP-M (middle; 60-90d), DP-L (long; 91-120d) and DP-XL (very long; >120 d). Analyses were performed with SPSS® 19.0. Statistical differences and relationships were estimated by ANOVA and Pearson correlation; significance considered with $P < 0.05$.

Results: Milk yield/lactation (MY) was 429.6 ± 188.5 L; Days in Milk/lactation (DIM) 231.7 ± 68.8 d; Milk Yield per Day in Milk (YDIM) 1.799 ± 0.561 L; Mean Length of DP (DP) 65.5 ± 55.9 d and Mean Lambing Interval (LI)

300.4 ± 66.3 d. The DP correlated with MY ($r = -0.386$; $P < 0.0001$), YDIM ($r = -0.280$; $P < 0.0001$) and LI ($r = 0.396$; $P < 0.0001$) of the same lactation. The analyses from the lactations separated by lactation order demonstrated that the significant and negative correlation between MY, YDIM and DP remained until lactation sixth. The influence of DP on reproductive and productive parameters of next lactation was studied. DP correlated positively, slight but strongly significant to the interval Lambing-Next-Conception (LNC; $r = -0.089$; $P < 0.0001$). Results analyzed by lactation order demonstrated this positive correlation between DP and LNC from the second lactation onwards until the fourth one ($P < 0.01$). DP-XS, S and L resulted in shorter LNC (142.3 ± 67.2 ; 147.7 ± 57.0 and 148.7 ± 52.4 d) than DP-XL and M (158.3 ± 62.7 ; 165.9 ± 74.2 d; $P < 0.0001$). At lactation 2, previous DP with shortest LNC was DP-XS (147.3 ± 68.2 d). Previous DP with larger LNC were DP-XL (175.8 ± 73.5 d) and DP-M (188.5 ± 79.4 d; $P < 0.0001$). At the second lactation the DP-XS, L and XL resulted in the lowest milk yields (390.5 ± 225.3 , 402.1 ± 182.3 and 437.6 ± 194.5 L), and deferred from DP-S (458.1 ± 195.0 L) and DP-M (486.3 ± 197.6 L; $P < 0.0001$). Similar results were observed in lactations 3 and 4 with DP-S and M reaching best MY ($P < 0.0001$).

Conclusions: The higher the MY and YDIM the shorter is DP in the same lactation. Ewes with DP of 30-90d showed larger yields in the lactation after, whilst the best LI was observed by the ewes with the shortest DP (DP-XS and DP-S). Based on these results, the optimal DP would be 30-60d for Lacaune sheep under intensive conditions.

OC: 199

Effects of drying-off procedure of ewes' udder in subsequent mammary infection and development of mastitis

Fthenakis C. G.; Petridis G. I.; Mavrogianni S. V.; Fragkou A. I.; Gougoulis A. D.; Tzora A.; Fotou K.; Amiridis S. G.; Fthenakis C. G.

University of Thessaly, Greece

Objectives: Objective of the study was to evaluate effects of the procedure followed for drying-off of ewes' udder (i.e., abrupt or progressive drying-off) in subsequent mammary infection and development of mastitis.

Materials and Methods: We used 31 ewes, at the end of a lactation period, which were allocated in one of two groups. In ewes of group A ($n=19$), udder drying-off took place progressively during a period of 20 days; in ewes of group B ($n=12$), drying-off took place abruptly. We took samples of teat duct material and of milk for bacteriological and cytological examination before the start of the drying-off procedure, as well as immediately after the subsequent lambing (i.e., after a full dry-period).

Results: At the end of lactation, before the start of the drying-off procedure, bacteria were isolated from 4 samples of teat duct material and from 4 milk samples from group A ewes; respective results from group B ewes were 5 and 2 samples. Subclinical mastitis (confirmed by simultaneous presence of bacteriological isolation and increased cell numbers in milk) was detected in 4 group A and 2 group B ewes. Immediately after the subsequent lambing, bacteria were isolated from 3 samples of teat duct material and from 4 milk samples from group A ewes; respective results from group B ewes were 1 and 3 samples. Subclinical mastitis was detected in 3 group A and 2 group B ewes. There was no statistical difference ($P > 0.55$) between results of bacterial isolation before the start of the drying-off procedure and those immediately after the subsequent lambing. Incidence of new infections during the dry-period was 0.19 for group A and 0.20 for group B ($P > 0.94$).

Conclusions: The results do not support a hypothesis that the procedure for udder drying-off could affect the risk of infection of the mammary glands during the dry period.

OC: 200

Effect of dietary soybean oil and fish oil supplementation on testis development and blood metabolites of male growing kids

Najafi, M.; Adibmoradi M.; Zeinoddini S.; Ganjkanlou M.; Yousefi A.; Baghchghi Y.

Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Islamic Republic of Iran

Objectives: The aim of the present study was to investigate the effects of

P: 985**Detection of *mecA* and toxins genes in coagulase negative staphylococci isolated from goat without mastitis in the state of São Paulo, Brazil**

Salerno, T.; Cunha Lourdes Ribeiro M.; Siqueira Keller A.; Condas Anuska Zeni L.; Pereira Cataneli V.; Camargo Henrique C.; Martins Yoshida Faccioli P.; Bonesso Fávero M.; Ribeiro Garcia M.

Univ. Estadual Paulista, UNESP, School of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Brazil

Objectives: Staphylococcus genus is considered the most important pathogen in goat mastitis. Coagulase Negative Staphylococci (CNS) comprises opportunistic microorganisms found in microbiota of the skin, mucous membranes, udders and teats of domestic animals. CNS have been isolated from milk of goats with and without mastitis. Staphylococci methicillin-resistant (MRS) and toxin production has emerged worldwide as great public health problem. Methicillin resistance in the Staphylococcus genus is codified by *mecA* gene. The aim of present study was to investigate the presence of *mecA* and toxins (*sea*, *seb*, *sec*, *sed*, *tsst-1*) genes using polymerase chain reaction (PCR) in CNS isolated from goats without mastitis.

Materials and Methods: Thirty-eight CNS strains were isolated from 200 goat milk without mastitis collected from six farms in central region of State of São Paulo, Brazil. The isolates were identified as *Staphylococcus* spp. and classified as coagulase negative using conventional microbiological methods.

Results: Molecular analysis enabled the classification of 38 CNS isolates as follows: *S. epidermidis* (n=16; 42.1%), *S. lugdunensis* (n=15; 39.6%), *S. pasteurii* (n=2; 5.3%), *S. auricularis* (n=1; 2.6%), *S. capitis urealyticus* (n=1; 2.6%), *S. saprophyticus* (n=1; 2.6%), *S. simulans* (n=1; 2.6%), and *S. warneri* (n=1; 2.6%). From 20 randomly selected CNS, *mecA* gene was detected in 15 isolates, predominantly in *S. epidermidis* (n=8; 53.3%). The gene of *sea* toxin was detected in 9 CNS isolates; *seb* in 3 strains; and *sec* in 2 isolates. In *S. epidermidis* strains, genes *sea* (5/20 = 25.5%), *seb* (3/20 = 15.0%), and *sec* (1/20 = 5.0%) were detected. None of the CNS isolates showed the presence of genes *sed* and *tsst-1*.

Conclusions: CNS isolated from milk of goats without mastitis presenting *mecA* or enterotoxins genes may constitute a health hazard to humans, when consuming milk and milk products, mainly if these dairy products are contaminated with *S. epidermidis*. Evidence suggests that *S. epidermidis* may serve as reservoir for antimicrobial resistance and/or toxin genes that are transferred to *Staphylococcus aureus*, considered to be the most virulent species involved in mammary infections in goats. Grant: Fapesp, Brazil, No. 2010/50823-5 and 2008/53499-4

P: 986**Applying the Fractional Polynomial technique to describe the lactation curve of Lacaune dairy sheep under intensive management**

Elvira, L.; Hernández F.; Cuesta P.; Cano S.; González-martín Vicente J.; Astiz S. *Trialvet Veterinary Consultancy and Research SL, Spain*

Objectives: Although the lactation of sheep has been extensively studied, data on complete lactation periods are rare as usually lambs are allowed to suckle the first month. However, in this study we have included information about the complete lactation curve on Lacaune dairy ewes. The FP approach, applies selection model techniques on linear multiple regression from a subset of transformations of the time variable, being a simple computational method that can be used to fit any lactation curve. Objectives The present study investigated the suitability of a new mathematical model based on Fractional Polynomial Technique (FP) to describe the lactation curve of Lacaune dairy sheep under intensive management conditions.

Materials and Methods: Records from 8136 lactations from 3677 sheep from one farm, for the period 2005-2010, were studied. A total of 7873 complete lactations during a 40-week lactation period were used. To evaluate the model we calculated residual mean square

(RMS) as a measure of goodness-of-fit, Durbin Watson (DW) statistic as a measure of autocorrelation to test whether the residuals were randomly distributed and Runs Test to check the randomness of the distribution of the residuals. All data were processed with SAS® 9.2.

Results: The subset of parameters for fitting the FP function to real data was selected using the best subset method of linear regression. A satisfactory fit was obtained using a subset of four parameters with the following transformations {1, 0, 0.5, 2}. Then, the selected function was the following $Mt = k + k1t + k0 \ln(t) + k0.5t0.5 + k2t2$. Analyses of FP model showed a very small RMS (0.000492) and a large R2 (0.99937). Related to DW (0.678) and Run test, results were quite satisfactory with randomization of residuals for most lactation orders ($P < 0.05$ for lactation 1, 3 and global and $P < 0.01$ for lactation 2). Additionally, we check the fit of the model, comparing real milk yield characterization data versus the generated data obtained with the FP model. For the global lactation the difference in milk yield was -0.11L; in peak yield +0.01L; in day of peak yield no deviation and in persistence at day 150 -2.15d mL/d.

Conclusions: These results indicate that FP model is an accurate and easy method to fit Lacaune lactation curve in order to predict milk yield. The main advantages of FP model is that it provides a very good fit to an extensive amount of real data and that it is applicable on farm without specific statistical software.

P: 987**Traumatic reticulo-pneumonia in an adult sheep**

Lacasta, D.; Ferrer Miguel L.; Ramos José J.; Ruiz De Arcaute M.; Figueras L.; Cebrian Miguel L.; Borobia M.

Veterinary Faculty, University of Zaragoza, Spain

Objectives: It is described the clinical and anatomopathological findings of a traumatic reticulo-pneumonia in an adult sheep.

Materials and Methods: This report discusses the clinical case of a sheep with a traumatic reticulo-pneumonia caused by a wire that crossed from the reticulum through the diaphragm, causing injury in the lung.

Results: Traumatic reticulitis due to perforation of reticulum by sharp foreign bodies is a common reported condition in bovines. It is frequent to find pointed bodies accumulated in the reticulum and sometimes these bodies pierced the wall and penetrate to the peritoneal cavity. From that point, the foreign bodies may proceed further and cause injury to surrounding structures. The signs observed are dependent upon the site of reticular perforation and lesions caused by foreign body, but it usually becomes fatal. The occurrence of traumatic reticulitis can be expected in ruminants, but while traumatic reticulitis has been frequently reported in the dairy cattle, rarely occurs in sheep and goats (Akkoc, 2007). In cattle, the most common site of lesion for reticular perforation is the pericardium. In bovine, pericarditis is almost always attributable to a reticular foreign body that has penetrated the reticular wall, diaphragm and pericardial sac (Braun, 2009). In the present report it is described a clinical case of traumatic reticulo-pneumonia caused by a wire. The animal developed a gangrenous pneumonia due to the wire penetrating from the reticulum. A eight-year-old ewe, weighing 55 kg, was remitted to the Ruminant Service at the Veterinary Faculty of Zaragoza, Spain. The animal showed anorexia, losing weight and weakness. The ewe was reluctant to move and showed a severe respiratory discomfort, including cough, dyspnoea, nasal discharge and abnormal breath odour. At the necropsy it was possible to observe fibrinous adhesions between the reticulum and diaphragm. The ewe had a large wire (8 cm) that penetrated through the reticular wall into the caudal lobe of the left lung, causing gangrenous pneumonia. The lesions comprised foci of pulmonary necrosis with accumulation of a foul-smelling exudate that was also present in the main bronchus and trachea. Furthermore, amyloid nephrosis was observed. The kidneys had a pale surface with scattered, military white-yellow foci.

Conclusions: This is the first description of a traumatic reticulo-pneumonia and it has to be taken into account that a foreign body in the reticulum can cross through the diaphragm and reach the lung instead of the pericardium.

Effects of intramammary antibiotic therapy during the dry period on the performance of Lacaune dairy sheep under intensive management

Fernando Hernandez¹, Laura Elvira^{2†}, Beatriz Fernández³, Marta Egea⁴, Antonio Gonzalez-Bulnes⁴, Juan V Gonzalez-Martin^{2,5} and Susana Astiz^{3*}

¹ Granja Cerromonte SL, San Juan de la Encinilla, 05358 Ávila, Spain

² TRIALVET S.L., C/Encina, 22, 28721 Cabanillas de la Sierra, Madrid, Spain

³ Department of Animal Reproduction, INIA, Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

⁴ Outcomes Research Department, Pfizer Spain, Avda Europa 20B, 28108, Alcobendas, Madrid, Spain

⁵ Department of Animal Medicine and Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Avda. Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

Received 5 August 2014; accepted for publication 6 October 2014; first published online 3 December 2014

Often the only way to ensure profitability of Lacaune dairy sheep is intensive management, which requires appropriate dry-period treatment to ensure animal productivity and health. The present study aimed to investigate the effects of intramammary antibiotic dry therapy on the performance and health of Lacaune sheep under intensive management. We recorded data for 5981 complete lactation periods that followed a dry period. A total of 2402 lactation periods were preceded by a dry period involving intramammary administration of 300 mg of cephapirin benzathine (antibiotic group) and 3579 lactation periods were preceded by dry periods with no treatment (control group). The following on-farm yield data were collected for individual lactation periods: length of the subsequent lactation period; total milk yield per lactation period; daily milk yield and length of the subsequent dry period. Data on confounding factors that might affect productivity were also recorded, including the individual ewe, number of lactation periods and length of the previous dry period. Milk quality was assessed using data on somatic cell count (SCC) and content of protein and fat taken from the Spanish National Official Milk Yield Recording System. Antibiotic dry therapy significantly improved total yield per lactation period, which was 429 ± 151.1 l in the antibiotic group and 412 ± 165.5 l in the control group, as well as the daily milk yield, which was 1986 ± 497.0 and 1851 ± 543.2 ml/d, respectively (both $P < 0.0001$). The initial dry period was significantly longer in the antibiotic group than in the control group, and dry period length correlated inversely with yield variables such as total yield per lactation period ($r = -0.055$; $P < 0.0001$) and yield per day in milk ($r = -0.039$; $P < 0.0001$). As a result, milk yield records systematically underestimated the positive effects of antibiotic dry therapy. Antibiotic dry therapy also significantly improved milk quality. Milk from the antibiotic group showed 50% lower SCC (573 ± 1326 vs. 1022 ± 2126 cells/ml; $P < 0.0001$) and slightly higher content in fat (7.33 ± 0.91 vs. $7.15 \pm 0.87\%$) and protein (5.63 ± 0.44 vs. $5.44 \pm 0.4\%$). The results of this study suggest that cephalosporin dry therapy of Lacaune dairy sheep increases milk production and improves milk quality during subsequent lactation periods.

Keywords: Lacaune, dairy sheep, antibiotic dry therapy, cephalosporin, SCC, intensive management.

One of the most effective strategies to reduce intramammary infections is antibiotic dry therapy. This practice is widely

used in dairy cows and has proven effective in keeping them healthy and enhancing milk production (Robert et al. 2006). Antibiotic dry therapy has also shown good results in meat sheep breeds, helping to increase weight gain in lambs relative to untreated animals (Watson & Buswell, 1984). The therapy has worked well in several breeds of dairy sheep (reviewed by Petridis & Fthenakis, 2014), including

†Current address: MSD Animal Health Spain, C/ Josefa Valcárcel, 38, 28027 Madrid, Spain.

*For correspondence; e-mail: astiz.susana@inia.es

Influence of dry period length on reproductive performance and productivity of Lacaune dairy sheep under an intensive management system

Fernando Hernandez¹, Laura Elvira², Juan-Vicente Gonzalez-Martin^{2,3} and Susana Astiz^{4*}

¹ 'Granja Cerromonte SL', San Juan de la Encinilla, 05358 Ávila, Spain

² TRIALVET S.L., C/ Encina, 22, 28721 Cabanillas de la Sierra, Madrid, Spain

³ Department of Animal Medicine and Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Universidad Complutense of Madrid (UCM), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

⁴ Department of Animal Reproduction, INIA, Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

Received 13 December 2011; accepted for publication 18 April 2012

Intensive management is almost the only way to ensure dairy farm profitability. The dry period length (DPL) is a key factor in the productivity and health of dairy cows, but whether the same is true of dairy sheep is unclear. This study investigated the effects of DPL on the performance of Lacaune sheep under intensive management. We recorded 8136 lactations from 4220 ewes on one farm for the period 2005–2010, and data from a total of 6762 complete lactations 1–4 were included in the study. The length of the dry period following the current lactation was studied. The larger the total milk yield (MY) and daily milk yield (DMY), the shorter was the DPL before the next lactation. DPL correlated with MY ($r = -0.384$), DMY ($r = -0.277$) and the lambing-to-conception interval (LC; $r = 0.201$, $P < 0.0001$) in the global analysis of all lactations (lactations 1–4). The influence of previous-DPL (P-DPL), or the length of the period prior to the start of the next lactation, was studied for 4318 lactations. P-DPL was classified into five intervals: very short (P-DPL-XS), 1–30 d; short (P-DPL-S), 31–60 d; medium (P-DPL-M), 61–90 d; long (P-DPL-L), 91–120 d; and very long (P-DPL-XL), > 120 d. P-DPL positively correlated with lambing-to-next conception interval (LNC; $r = 0.095$, $P < 0.0001$) for lactations 1–4. LNC was significantly shorter for P-DPLs that were very short, short, or long (P-DPL-XS, 144.2 ± 67.8 d; P-DPL-S, 149.1 ± 57.2 d; P-DPL-L, 152.0 ± 53.7 d) than for groups with very long or medium P-DPLs (P-DPL-XL, 161.5 ± 62.9 d; P-DPL-M, 169.0 ± 74.8 d; $P < 0.0001$). Moreover, P-DPLs that were very short, long, or very long were associated with the lowest milk yields (P-DPL-XS, 377 ± 215 l; P-DPL-L, 370 ± 168 l; P-DPL-XL, 396 ± 196 l). These yields were significantly lower than the yields for short and medium P-DPLs (P-DPL-S, 432 ± 187 l; P-DPL-M, 436 ± 191 l; $P < 0.0001$) when averages of lactations 1–4 were analysed. These results indicate that lactations with larger MY are followed by a shorter dry period, and that a dry period of 30–90 d leads to larger yields in the next lactation. The best LNC was associated with the shortest Previous-DPL. Hence, 30–60 d should be the optimal dry period length for Lacaune sheep under intensive conditions.

Keywords: Lacaune, dairy sheep, dry period length, performance, intensive management.

Lacaune sheep originated in France and produce the milk used to prepare Roquefort cheese. This breed has become one of the world's highest-yielding ovine milk breeds, with average daily milk yields of 1.59 l and a total milk yield of 270 l over a 165-d lactation period (Barillet et al. 2001).

Since 1992, 17 countries have officially imported dairy Lacaune from France. In Spain, for example, the Lacaune breed produces a standard daily milk yield of 1.43 l compared with Manchega production of 0.75 l (Such & Caja, 1995). In our previous study, average productivity was 448 l over a 238-d lactation period in an intensively managed Lacaune flock (Hernandez et al. 2011). In Canada, the productivity of the Lacaune is 330 l in the first lactation (lactation period, 220 d) and 392 l in the second

*For correspondence; e-mail: astiz.susana@inia.es

Influence of age at first lambing on reproductive and productive performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system

Fernando Hernandez¹, Laura Elvira², Juan-Vicente Gonzalez-Martin^{2,3}, Antonio Gonzalez-Bulnes⁴ and Susana Astiz^{4*}

¹ 'Granja Cerromonte SL' San Juan de la Encinilla, 05358 Ávila, Spain

² TRIALVET S.L., C/ Encina, 22, 28721 Cabanillas de la Sierra, Madrid, Spain

³ Department of Animal Medicine and Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Universidad Complutense of Madrid (UCM), Avda Pta. de Hierro s/n, 28040, Madrid, Spain

⁴ Department of Animal Reproduction, INIA, Avda Pta. de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain

Received 25 October 2010; accepted for publication 6 December 2010; first published online 4 March 2011

The present study investigated the effect of age at first lambing (AFL) on the performance of Lacaune sheep under intensive management conditions. Records from 3088 maiden sheep from one farm, for the period 2005–2010, were classified into four experimental groups: group E (early) ewes with AFL ≤ 390 d; group M (middle) with AFL of 391–450 d; group L (late) with AFL of 451–510 d; and group A (aged) with AFL ≥ 511 d. The higher the number of lactations, the lower were the yield/lactation and yield/Day in Milk. Ewes from group M up to 450 days old lambed 0.2 times more often and had 0.25 more lactations than the ewes from group L; in addition, the former group lambed 0.5 times more often and had 0.49 more lactations than ewes from group A. Group A had the lowest yield per lifetime; the yield followed the sequence: group E (1032 l) > group M (1051 l) > group L (989 l) > group A (859 l) ($P < 0.0001$). Yield/lactation was affected by AFL during the first three lactations ($P < 0.05$). Group E produced significantly less milk in the first lactation than ewes from groups M, L and A. AFL correlated negatively with the number of lactations in life ($r = -0.26$; $P < 0.0001$) and with total milk yield ($r = -0.209$; $P < 0.0001$). The productive performance between the ewes that reached puberty early ($n = 404$) or late ($n = 2684$) in life were different ($P < 0.0001$) with the early sheep having a lower total milk yield (591 v. 1073 l, $P < 0.0001$). In conclusion, the current study indicates that the optimal AFL for the Lacaune breed under an intensive dairy system is between 390 and 450 d. Ewes with AFL earlier than 390 d or later than 450 d are likely to have a shorter productive life and a lower lifetime milk production.

Keywords: Lacaune, dairy sheep, age at first lambing, performance, intensive management.

The Lacaune sheep originated in France and produces the milk used to prepare Roquefort cheese. Over the last 40 years, the Lacaune breed was selected from a dual-purpose animal with low dairy yields, to select for an animal with increased milk production. The selection programme incorporated artificial insemination, milk recording (yields, composition, type traits, somatic cell count and udder score; Barillet et al. 2001) and progeny testing of sires.

The Lacaune breed, owing to selection and export programmes, is currently one of the world's high-yielding

milk ovine breeds, with an average daily milk yield of 1.59 l and a total milk yield of 270 l over a 165-d lactation period. Since 1992, 17 countries have officially imported dairy Lacaune from France. In Spain, for example, the Lacaune breed produces 1.43 l of standard milk daily, compared with Manchega production of 0.75 l/d (Such & Caja, 1995). In Canada, the productivity of the Lacaune is 330 l in the first lactation (lactation period of 220 d) and 392 l in the second and subsequent lactations (lactation period of 241 d) (Regli, 1999).

Production of Roquefort cheese is strictly regulated (AGRP0001838D); legislation protecting Designation of Origin prohibits intensive milk production and insists on traditional management of the flocks. The hoggets are bred

*For correspondence; e-mail: astiz.susana@inia.es



Proceedings of the XXVIII World Buiatrics Congress, Cairns 2014. Oral communication and poster abstracts.



Flight paths to and from Cairns



Buiatrics is the study of cattle and their diseases. The world "Buiatrics Congress" is like the Olympic Games of conferences for people who study cattle. Held somewhere different in the world every 2 years since 1960, with an average attendance of 1500-2500 delegates, the ACV is proud to have won the bid to host this prestigious congress in 2014. More information is available at www.buiatrics.com



Organisers:
Australian Cattle Veterinarians
A special interest group of the
**Australian Veterinary
Association Ltd.**

respectively, $p = 0.02$). On day 0 there was also a significant difference in average variation of distal interphalangeal joint temperature before and after exercise (2.2°C claws with severe overgrowth and 0.4°C for healthy claws, $p=0.05$). Claws with moderate overgrowth (grade 1) were those that registered the largest variation and differences in temperatures, before trimming. These claws showed differences in temperature variations before and after the exercise before trimming, in all the joints evaluated (2.22°C for the carpo-metacarpal/tarsal-metatarsal joints, 1.86°C for the proximal interphalange joint and 1.48°C for the distal interphalangeal joint, $p= 0.14, 0.03$ and 0.09 , respectively). After trimming, there were no significant differences in temperature and variations of temperature before and after the exercise. The temperature of the healthy claws continued to decrease after exercise. Intermediate claws showed a reduction in the temperature variability. Finally, the temperature variation in animals with severe overgrowth did not suffer any change, continuing to be the claws with the highest temperature after trimming, in all the joints evaluated.

Conclusions: The distal interphalangeal joint, seems to be the most affected joint by claw overgrowth. There seems to be an ongoing process on the severe overgrown claws, even after trimming that reduces the response to exercise and to the environment. The healthy group showed a reduction in joint temperature after exercise. There are probably some claws that are over or under classified as 1, but, for a more detailed evaluation is important to distinguish these, because they have a different response from healthy claws, and they respond to the exercise differently, after trimming, revealing a difference from level 2 as well.

Effects of systemic intramammary antibiotic therapy during the dry period on the performance of Lacaune dairy sheep under an intensive management system
Hernandez, F¹; Elvira, L²; Fernandez, B³; Egea, M³; Gonzalez-Bulnes, A³; Gonzalez-Martin, JV⁴; Astiz, S^{3,*}

1-Granja Cerromonte, Ávila, Spain
2-MSD AH, Madrid, Spain
3-INIA, Madrid, Spain
4-UCM, Madrid, Spain

Objectives: The Lacaune dairy sheep is one of the world's largest-yielding ovine milk breeds. Information regarding management protocols of this breed under intensive management is scarce. The dry period and the management during this time is a key factor in the performance and health of dairy animals. This study investigated the effects of a systematic intramammary antibiotic dry treatment on the performance of Lacaune sheep under intensive management.

Methods: We recorded 3727 lactations from 2345 ewes on one farm for the period of March-2009 to January 2012. Since June 2010 an intramammary cephalosporin was applied in all sheep at the beginning of the dry period. All lactations that had a previous dry period and all recorded data were included in the study. A total of 1620 lactations were "Control" or not treated lactations (Group-C) and 2107 were "treated lactations" (group-T). Influence of the individual, lactation number (LN), previous dry period length (P-DPL) and previous interlambing interval (P-ILI) were statistically controlled as potential confounding factors. The effect of the treatment on the total yield of the following lactation (TY), yield per

day in milk (Y/DIM), total protein yield (TP), total fat yield (TF), somatic cell count (SCC; cells/mL $\times 10^3$), the length of the next lactation (N-LL), the length of the next dry period (N-DPL) and on the next interlambing interval (N-ILI) were investigated. Data were analyzed using SPSS®19.0 (IBM, NY, USA). The statistical significance of differences was assessed by t-Student test and relationships between parameters were assessed by Pearson correlation analysis.

Results: Treatment improved ($P<0.0001$) Y/DIM (2492 ± 608.84 vs. 2682 ± 690.54 mL for groups C and T, respectively), FY (7.15 ± 0.87 vs. $7.33\pm 0.91\%$), PY (5.44 ± 0.40 vs. $5.63\pm 0.44\%$), and SCC (1022.24 ± 2126.22 vs. 573.68 ± 1326.78 cell/mL $\times 10^3$); it reduced N-LL (230 ± 49.04 vs. 216 ± 39.16 d) and N-DPL (74 ± 42.58 vs. 67 ± 27.66 d), as well as N-ILI (304 ± 56.62 vs. 283 ± 41.11 d). Total milk yield/lactation was not affected (449 ± 152.75 vs. 439 ± 152.82 L).

Regarding confounding factors: P-DPL and P-ILI were longer in treated-ewes (63 ± 44.84 vs. 71 ± 40.18 , for C and T, respectively), (P-ILI= 292 ± 64.70 vs. 302 ± 60.57 d), due to the need of longer time after treatment because of waiting period (35d). These factors are known to affect negatively milk yield, therefore, in our study, they induced to underestimation of the positive effects of the dry-treatment. The number of the lactation of the ewes did not differ between groups (3.04 ± 1.15 vs. 3.18 ± 1.36).

The correlation study showed an inverse relationship in each experimental group and in the whole herd ($P<0.0001$), between SCC and the main yield variables as Y/DIM ($r=-0.192$); TY ($r=-0.162$); fat yield ($r=-0.079$); LL ($r=-0.069$), but not with the other variables studied.

In order to control the effect of the individual, non treated lactations followed by a treated lactation in the same individual were analyzed. Two following lactations of 1390 sheep were included in the study, with the following results: The lactation after the treatment showed a higher yield Y/DIM (2413 ± 527.25 vs. 2695 ± 672.13 mL for C and T, respectively), higher fat yield (FY= 7.09 ± 0.88 vs. $7.24\pm 0.85\%$), better protein yield (5.43 ± 0.41 vs. $5.61\pm 0.43\%$), and less SCC (773.17 ± 1682.18 vs. 614.44 ± 1362.05 cells/mL $\times 10^3$), than the previous non-treated lactation.

Conclusions: These results demonstrate that systematic intramammary antibiotic dry treatment in Lacaune dairy sheep under intensive management conditions improves yield and milk quality, mainly through a reduction in the SCC. This improvement increases the economic efficiency of this farm and the quality of the milk.

Lipid Profile and Oxidative Stress Markers in Pneumonic Pasteurellosis in Sheep
El-Deeb, WM; Bakhsh, AA*
King faisal University, Al-Ahssa, Saudi Arabia

Objectives: The aim of this study was to shed the light on the possible pathophysiological importance of lipid profile and oxidative stress markers in sheep with pneumonic pasteurellosis

Methods: Blood samples were collected from 36 *Pasteurella multocida* infected sheep, together with 20 healthy controls. Samples for bacteriological examination (nasal swabs, bronchoalveolar lavage) were collected from all animals and subjected to bacteriological examinations. Moreover, heart-blood